

国际信息工程先进技术译丛

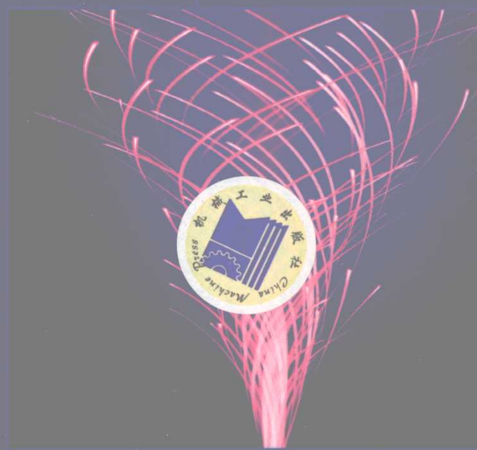
McGraw Hill Education

基于射频工程的UMTS空中接口设计与网络运行

The UMTS Air-Interface in RF Engineering Design & Operation of UMTS Networks

（美）Shing-Fong Su 著

刘波 曲新波 张润 译





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际信息工程先进技术译丛

基于射频工程的UMTS空中接口设计与网络运行

（美）Shing-Fong Su 著

刘波 曲新波 张润 译



机械工业出版社

ISBN：978-0-07-148866-2

本书版权登记号：图字 01-2008-1623 号

图书在版编目（CIP）数据

基于射频工程的 UMTS 空中接口设计与网络运行/（美）苏新丰著；刘波，曲新波，张润译．—北京：机械工业出版社，2009.1

（国际信息工程先进技术译丛）

书名原文：The UMTS Air-Interface in RF Engineering Design & Operation of UMTS Networks

ISBN 978-7-111-25417-1

Ⅰ．基…　Ⅱ．①苏…②刘…③曲…④张…　Ⅲ．移动通信—通信网　Ⅳ．TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 167886 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）

责任编辑：张俊红　版式设计：霍永明　责任校对：陈立辉

封面设计：马精明　责任印制：乔　宇

北京中兴印刷有限公司印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm · 20.5 印张 · 396 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-25417-1

定价：48.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话（010)68326294

购书热线电话：(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010)88379764

封面无防伪标均为盗版

译　者　序

移动通信系统在经历了第1代的模拟蜂窝系统、第2代的TDMA和窄带CDMA数字蜂窝系统之后，目前已发展到第3代移动通信系统（3G），其终极目标是实现任何人在任何地点、任何时间与其他任何人进行任何方式的通信，它是按照国际电信联盟提出的IMS—2000标准进行设计的新一代移动通信系统。与第1代和第2代蜂窝移动通信系统相比，第3代移动通信系统采用了CDMA技术，基于全IP网络，具有支持更多的用户数量、系统容量，支持多媒体等高速数据业务等特点。

随着全球3G网络进入快速成长期，我国的3G网络大规模建设也在逐步展开。2008年北京奥运会就是一个标志，在本届奥运会上，各种3G网络为我们充分展现了未来无线世界的魅力，未来3G应用所带来的爆发式增长将带来总体市场规模的全面拓展，从而带动相关产业链的快速发展。2008年5月24日，工业和信息化部、国家发改委和财政部联合发布了《关于深化电信体制改革的通告》，正式宣布我国六大电信运营商将整合为三家。同时，三部委首次明确电信重组目标是发放3张3G牌照（这3张牌照分别对应3种标准：TD-SCDMA、WCDMA和CDMA2000），改革重组与发放3G牌照过程相结合，重组完成后发放3G牌照。3G牌照发放之后，三大综合运营商就会各自启动3G网络的全面部署和运营，这样在国内将形成TD-SCDMA、WCDMA、CDMA2000三大标准的鼎立局面。

据权威机构预测，2008年底中国的3G用户将达到40万，2009年底3G用户数将超过1600万，除了TD-CDMA之外，还有WCDMA（UMTS）用户和CDMA2000用户。预计到2010年底，各运营商在全国大部分区域都将有3G网络的覆盖，用户数将迅速增长到2亿。到2011年底，全国会拥有3.5亿的3G用户，占到移动总用户的38.7%。

目前，基于WCDMA标准的第3代移动通信系统已经开始在欧洲和亚洲的一些国家和地区进行商用，并取得了较好的效果。截至2008年6月底，全球共部署了233张WCDMA商用网络，204张HSDPA商用网络和44张HSUPA商用网络。因此，可以预见，WCDMA技术在拥有全球最大的GSM移动通信网络的中国移动通信市场也将会占有重要的份额。

UMTS技术无疑是第3代移动通信系统（3G）的主要技术之一。到目前为止，WCDMA标准已经发展到Release 6版本，本书反映了WCDM技术的最新

成果。书中介绍了第3代移动通信系统中WCDMA的发展历程，对WCDMA标准的无线接入网、物理层与无线接入、WCDMA空中接口、时分双工模式、无线网络规划等进行了详细介绍，并深入阐述了空中接口资源有效应用和服务质量中采用的各种无线资源管理算法。本书深入浅出地介绍了WCDMA标准和应用原理，既适合运营商、网络和终端设备制造商、业务提供商、高校学生和频率管理者等需要对WCDMA深入了解的读者，也适合初步接触第3代移动通信系统的读者。

本书由武汉通信指挥学院刘波主持翻译，总参第六十三研究所曲新波、总参通信部驻南京地区代表室张润参与翻译。其中，刘波负责第1～4、12、14～16章，曲新波负责第5～8、13章，张润负责9～11章，全书由刘波负责统稿。本书译者多年从事下一代网络技术的研究和开发工作，并拥有丰富的理论基础和实践经验。但需要说明的是，本书是译者在尽量忠实于原书的基础上翻译的，书中所述并不代表译者及其所在单位的观点，这点请读者注意。

在此，感谢参与本书部分翻译工作的刘中治、周丹、安娜、曾敏、王莉、贾海亮、赵亮、张蕴、肖文、林伟廷、卢兴顺、位东、李杰和吴延林。同时，感谢在本书翻译过程中给予过指导的武汉通信指挥学院的姜文春教授、王祖平教授、水海鹰教授、胡喜春副教授、陈卫东副教授、黎发新副教授、陈福中副教授，感谢华为3Com公司的赵钱兵工程师、南京海脉科技有限公司的吴学智总经理、杭州世导科技有限公司的钟俊平工程师、华中科技大学的郎为民博士、邓鹏、吴耀文、焦寨军、通信指挥学院的王汉杰、姚双庆、张其增，感谢为本书提供了资料和支持的沈斌、徐昶、丁飞、李国栋、莫春声。

由于时间仓促，译者水平所限，同时由于目前第3代移动通信技术的迅猛发展和许多技术问题尚未解决，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

译者于武汉

2009年元月

原书前言

UMTS技术无疑是第3代移动通信系统的主要技术之一。到目前为止，3GPP组织已提出了各种关于UMTS移动通信技术的规范，并依序发布了各种版本，包括Release 99、Release 4、Release 5、Release 6等。而各个网络和终端设备提供商目前已经或者正在开发符合3GPP规范的UMTS设备和器件，以确保不同设备商提供的系统之间具有互操作性。目前，世界上许多国家已部署了UMTS系统。在不远的将来，更多的国家也将跟进。

本书主要目的是为了给从事无线通信专业的技术人员或学生提供一个关于UMTS空中接口和射频工程的基本理解。对于射频系统及其相关领域的工程师来说，在规划、设计、开发、优化、操作和维护UMTS网络之前，掌握UMTS空中接口和射频工程方面的知识是必不可少的。尽管3GPP规范中对UMTS空中接口技术已经给出了很详细的描述，但是很多工程师和项目经理发现，要想通篇阅读和研究这些规范是不切实际的。因为面对这么庞大的信息量，很多工程师都不可能花费大量的时间和精力来专门研究这些规范的详细说明，因此他们需要一本专门阐述UMTS空中接口某一关键部分的书籍，这样就可以快速掌握其中的概念和相关知识。除了空中接口知识外，很多工程师和项目经理也希望有一本书可以专门阐述射频工程方面知识的书籍，这样他们在工作中就可以更有效率，更加得心应手。正是基于以上两点考虑，我决定编写本书。

本书不仅包含了大量理论观点，也包含了工程实践方面的知识。本书是射频领域的专业书籍，其中的大量素材来自本人的工程实践经验。本书中"理论加实践"的模式可以为读者提供"一站式"的服务，不仅可以为工程师和项目经理提供UMTS空中接口方面的基础知识，还可以为他们设计、开发、优化、操作和维护UMTS网络提供必要的实践经验。本书除了可以作为工程师和项目经理的参考手册外，还可以作为相关工程专业学生的参考书籍。

出于简洁和方便阅读的考虑，在本书编写过程中，省略很多3GPP规范中关于UMTS空中接口的详细阐述。但是，为了避免出现概念性的混淆，本书引用了很多3GPP规范中描述的标准符号和专业术语。另外，在经过欧洲电信标准协会（European Telecommunication Standards Institute，ETSI）的允许后，还借鉴一些3GPP规范中关于发射端和接收端的图表和表达方式，并采用"引用已经过ETSI允许"进行了标识。对于引用3GPP规范中关于发射端和接收端的地方，本书中统一采用下面的描述进行标识：3GPP™中的发射端和接收端规范属

于ARIB、ATIS、ETSI、CCSA、TTA和TTC联合组织版权所有，并有权进行修订，其他组织和个人未经允许，禁止用作其他用途。

UMTS涉及很多接入技术，本书主要介绍的是UMTS中采用FDD工作模式的WCDMA接入网络。其中，很多概念不仅仅适用于UMTS，也适用于其他技术。因此，本书不仅包含了很多UMTS中专用的概念和技术，也包含了很多其他通用的概念和技术。例如Node B和基站、UE和移动终端，这些概念有时是可以相互通用的。

本书总共包含16章，其主要内容分别如下所述：

第1章主要介绍了UMTS的概念，其中包括UMTS的定义、WCDMA的演进、UMTS设备和UMTS网络结构。

第2章主要阐述了UMTS系统的基础，其中包括协议栈、UMTS信令、控制平面、用户平面、UMTS信道和信道映射、帧周期、系统帧编号、连接帧编号、UE呼叫状态和UE/用户识别。

第3章主要介绍了3GPP组织和UMTS标准，其中包括标准的演进、标准版本，重点介绍了无线接入规范。

第4～7章主要介绍了UMTS接入层技术，其中包括无线资源控制（RRC）、无线链路控制（RLC）、媒体接入控制（MAC）和物理层概念等。

第8章详细阐述了蜂窝重选技术。

第9章主要讨论了UMTS中的切换机制，其中包括软切换、更软切换和硬切换，另外还包含测量控制、报告机制以及压缩模式。

第10章主要阐述了UMTS系统中的功率控制机制。

第11章主要介绍了高速下行分组接入（HSDPA）技术。

第12章主要描述了WCDMA无线网络的规划。

第13章主要阐述了WCDMA射频网络优化技术，其中包括射频网络优化流程、驱动测试和数据分析。

第14章主要介绍了WCDMA系统中转发器和塔顶放大器的应用，从实用的角度重点阐述了WCDMA系统中转发器和塔顶放大器的工程设计，并给出了转发器部署时需要注意的一些问题。

第15章主要讨论了系统间干扰的问题，其中包括WCDMA和CDMA2000之间、WCDMA和GSM之间、WCDMA和PHS之间的干扰问题。

第16章主要比较了WCDMA和CDMA2000，阐述了它们之间的相似之处以及两者之间的区别。

Shing-Fong Su

目　　录

第 1 章　UMTS 概述

目前，全球第 3 代移动通信系统（3G）正处于快速发展的阶段，一些服务提供商已经部署了 3G 系统，而更多的服务提供商正计划在不久的将来全面部署 3G 系统。3G 系统可以在全球范围内提供移动通信服务，主要包括电信业务和数据承载业务。其中，电信业务包括话音业务和短信业务，而数据承载业务主要负责接入点之间的数据信息传输。数据承载业务的特征主要由传输连接过程或会话阶段确定，最典型的数据承载业务包括视频流、可视电话、视频点播、多媒体、影视和互联网应用（如网页浏览和网页下载）等。

UMTS 和 CDMA2000 是当前最主要的两种 3G 技术，业界普遍认为它们是 3G 技术在全球范围内部署的领跑者。另外一种 3G 技术就是 TD-SCDMA，TD-SCDMA 目前正处于快速发展的阶段，在将来很有可能部署在很多国家，如中国。本书主要介绍的是 UMTS，CDMA2000 和 TD-SCDMA 不在本书介绍的范围之内。

1.1　什么是 UMTS

UMTS 是通用移动通信系统（Universal Mobile Telecommunications System）的英文缩略语，UMTS 支持很多业务和各种不同的服务质量（QoS），在不采用高速下行分组接入（HSDPA）技术的情况下，其分组数据传输速率可达到 2 Mbit/s，电路交换数据速率可达到 384 kbit/s；如果采用 HSDPA 技术，其数据传输速率可超过 10 Mbit/s。

UMTS 可以提供高质量的话音服务，并有效提高频谱利用率，从而可以实现很高的系统容量。高质量的话音主要是依靠自适应多速率（Adaptive Multi-Rate，AMR）话音合成器来实现的，UMTS 中的话音合成器性能比全球移动通信系统（Global System for Mobile Communication，GSM）中的增强全速率（Enhanced Full-Rate，EFR）话音合成器性能更加优越。另外，UMTS 中的快速功率控制技术也可以进一步提升系统容量。UMTS 中上行和下行链路的功率控制频率为 1500 Hz，而 GSM 中的功率控制频率为 2 Hz。

图 1-1 给出了 UMTS 系统的大致结构图，主要由 3 部分构成：核心网（Core Network，CN）、无线接入网（Radio Access Network，RAN）和用户设备（User Equipment，UE）。其中，核心网主要由电路交换（Circuit Switch，

CS）核心网和分组交换（Packet Switch，PS）核心网组成。用户设备可以是移动终端，也可以是数据终端。这里，无线接入网是指通用地面无线接入网（Universal Terrestrial Radio Access Network，UTRAN），不仅可以工作在频分复用（Frequency Division Duplex，FDD）模式，也可以工作在时分复用（Time Division Duplex，TDD）模式。UTRAN-FDD接入网采用宽带码分多址（Wideband Code Division Multiple Access，WCDMA）协议，并工作在3.84 Mcps（chip/s）频段，通常称为WCDMA接入网；而UTRAN-TDD接入网既可以工作在3.84 Mcps频段，也可以工作在1.28 Mcps频段，工作于1.28 Mcps频段的无线接入技术通常也称为低码片速率TDD（Low Chip Rate TDD，LCR TDD）技术或者时分同步码分多址接入（Time-Division Synchronous Code Division Multiple Access，TD-SCDMA）技术。本书主要介绍的是采用WCDMA接入网（即UTRAN-FDD模式）的UMTS。

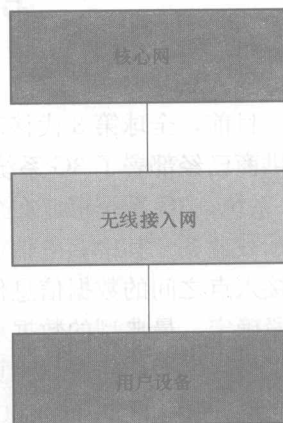


图1-1 UMTS结构图

1.2 WCDMA的演进

UMTS是在GSM或通用分组无线业务（General Packet Radio Service，GPRS）移动应用部分（Mobile Application Part，MAP）之后发展起来的。在GSM MAP核心网家族中，GSM可以提供话音和基本的数据业务，而GPRS或EDGE（Enhanced Data Rates for GSM Evolution，GSM演进的增强型数据速率）可以提供更高速率的数据业务。从演进的角度来推断，下一步就发展到了WCDMA。WCDMA继承了GSM MAP的核心网架构，但采用了不同的接入网。图1-2给出了从GSM到WCDMA的演进路线。

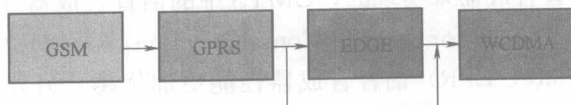


图1-2 从GSM到WCDMA的演进路线

由于WCDMA是从GSM演进过来的，因此这两个系统的高层结构基本相同，包括移动性管理（Mobility Management，MM）、GPRS移动性管理（GPRS Mobility Management，GMM）、连接管理（Connection Management，

CM）和会话管理（Session Management，SM）。其中，移动性管理和连接管理属于电路交换领域，而GPRS移动性管理属于分组交换领域。在连接管理中，主要包含了呼叫控制（Call Control，CC）业务、短信息业务（Short Message Service，SMS）和增值业务（Supplementary Service，SS）。除了高层结构基本相同外，WCDMA与GSM还有一些其他的相似性。例如，UMTS的通用用户识别模块（Universal Subscriber Identity Module，USIM）就是在GSM中用户识别模块（Subscriber Identity Module，SIM）的基础上演变过来的。

1.3 UMTS业务

网络业务通常是指端到端的业务，也就是指一个用户与另一个用户之间的业务。端到端的业务要求必须为用户提供一定服务质量（QoS），用户必须确定所提供的QoS是否满足要求。

UMTS在不同的环境下可以提供不同的数据传输速率。如果不采用HSDPA技术，UMTS可以为远郊的室外业务提供144 kbit/s的传输速率，为市区的室外业务提供384 kbit/s的传输速率，为市区的室内业务或近距离室外业务提供约2 Mbit/s的传输速率；如果采用HSDPA技术，UMTS可以提供高达10 Mbit/s的传输速率。

根据不同的业务流类型，UMTS可以提供具有不同QoS等级的业务。通常，用户业务流可分为4种类型：会话类型业务、流类型、交互类型业务和后台类型业务。其中，会话类型业务包括话音、可视电话和视频游戏，该类型业务要求时间延迟远小于1s；流类型业务包括多媒体、视频点播和网页下载，该类型业务要求时间延迟不得超过1s；交互类型业务包括网页浏览、网络游戏和数据库访问，该类型业务要求时间延迟不得超过10s；后台类型业务包括E-mail、SMS和流量下载，该类型业务允许时间延迟超过10s。

1.4 UMTS网络

UMTS网络由很多具有特定功能的网络单元构成。首先，核心网络单元是指负责将呼叫连接和数据连接交换并路由到外部网络的网络单元；其次，无线接入单元是指负责处理无线链路功能的网络单元；最后，用户设备是指作为用户与业务网络之间接口的网络单元，其中，接口是在核心网和无线接入网之间定义的。同时，Uu接口是在无线接入网和用户设备之间定义的。这些开放式的接口指定了网络单元之间的标准连接，并为来自不同制造商的网络设备之间提供了互操作性。

1.4.1 核心网

UMTS的基本核心网络架构主要基于采用GPRS技术的GSM网络，图1-3给出了核心网络架构的结构示意图，该网络架构主要由电路交换域和分组交换域组成。在电路交换域中，网络单元包括移动交换中心（Mobile Switching Center，MSC）、漫游位置寄存器（Visitor Location Register，VLR）和网关移动交换中心（Gateway Mobile Switching Center，GMSC）；在分组交换域中，网络单元包括服务GPRS支撑节点（Serving GPRS Support Node，SGSN）和网关GPRS支撑节点（Gateway GPRS Support Node，GGSN）。其他网络单元由这两个交换域共享，如归属位置寄存器（Home Location Register，HLR）和认证中心（AUthentication Center，AUC）。电路交换域网络单元负责处理电路交换业务流，如话音和低速率数据业务流；分组交换与网络单元负责处理分组交换业务流，如多媒体业务流。

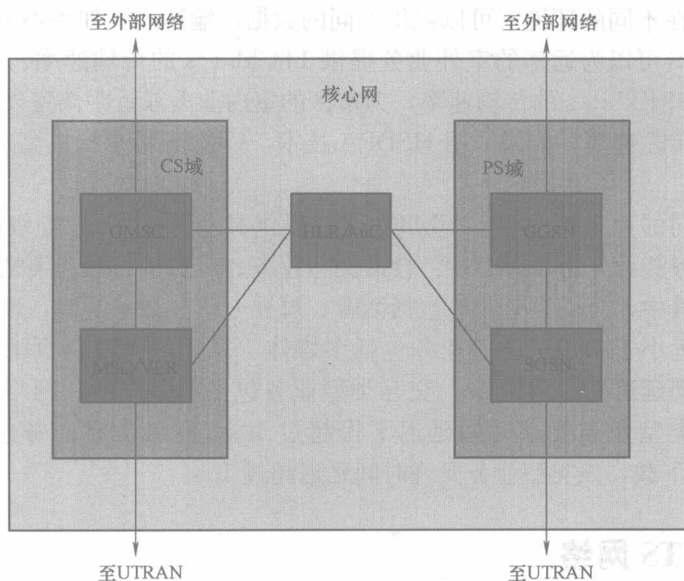


图1-3 核心网架构

1.4.2 UTRAN

无线接入网又称为UTRAN，主要负责提供UE的空中接入，图1-4给出了UTRAN的结构示意图。UMTS系统中的基站称为“B节点”，英文著作中通常称为“Node B”；负责控制Node B的设备称为无线网络控制器（Radio Network Controller，RNC）。在UTRAN中，定义了两个接口，分别为Iub接口和Iur接

口。Iub接口负责连接Node B和RNC，同时实现Node B和RNC（可能来自不同设备提供商）之间的互操作性；Iur接口负责连接两个RNC，同时支持不同RNC之间的软切换。

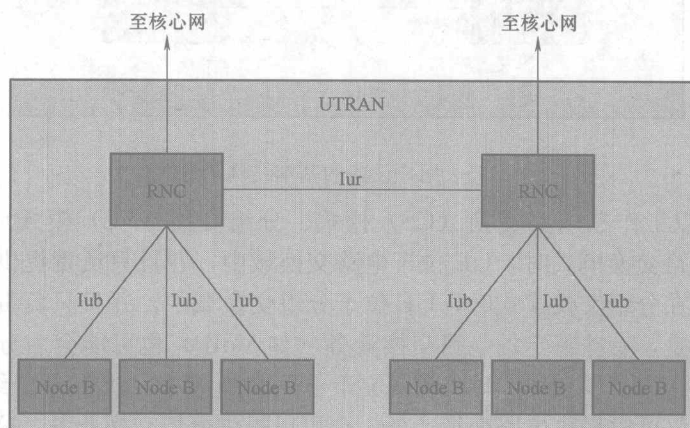


图1-4　UTRAN的结构示意图

UTRAN中采用了直接序列CDMA（Direct Sequence CDMA，DS-CDMA）技术。在DS-CDMA技术中，用户数据通过正交可变扩频因子（Orthogonal Variable Spreading Factor，OVSF）编码技术来实现复用。另外，扰码和同步编码技术分别为用户数据实现扰码和同步功能。

Node B负责实现空中接口的发射与接收、调制和解调、物理信道编码、微分集、纠错和闭环功率控制；RNC负责实现无线资源控制、许可控制、信道分配、功率控制配置、切换控制、宏分集、加密与解密、分段与重新组合、广播信令和开环功率控制。

1.4.3　用户设备

在空中接口两侧，与Node B对应的就是用户设备（UE），图1-5给出了用户设备的基本结构示意图。通常，UE的结构主要由1个移动设备（Mobile Equipment，ME）和1个UMTS用户识别模块（USIM）构成。在图1-5中，Cu接口位于ME和USIM之间，负责提供两者之间的电气连接。UE具有很多不同的标识类型和功能，其中最主要的标识类型包括国际移动用户标识（International Mobile Subscriber Identity，IMSI）、临时移动用户标识（Temporary Mobile Subscriber Identity，TMSI）、分组临时移动用户标识（Packet Temporary Mobile Subscriber Identity，P-TMSI）和国际移动站设备标识（International Mobile-station Equipment Identity，IMEI）。

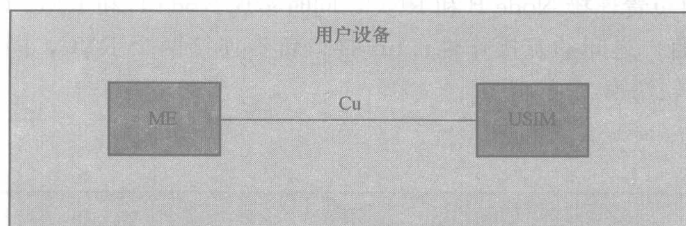


图1-5　用户设备的基本结构示意图

UE可以工作在电路交换（CS）模式、分组交换（PS）模式或混合模式。当工作在电路交换模式时，UE位于电路交换域中，并且只负责提供电路交换服务；当工作在分组交换模式时，UE位于分组交换域中，并且只负责提供分组交换服务。但是，有些特定的电路交换业务（如VoIP）也可能会由分组交换域提供。当工作在混合模式时，UE不仅位于电路交换域中，也位于分组交换域中，这时UE不仅可以提供电路交换业务，也可以提供分组交换业务，这就是通常所说的CS/PS模式。

1.5　UMTS频段和信道排列

3GPP规范中定义了UMTS的频段和信道排列，如下所述：

1.5.1　频段

根据TS 25.101[1]规范，UTRA/FDD工作在以下成对的频段中：

（1）1920～1980 MHz：上行链路（UE发射，Node B接收）；
2110～2170 MHz：下行链路（Node B发射，UE接收）。

（2）1850～1910 MHz：上行链路（UE发射，Node B接收）；
1930～1990 MHz：下行链路（Node B发射，UE接收）。

当然，也不排除其他工作频段的部署规定。例如，UTRA/TDD工作于1900～1920 MHz和2010～2025 MHz频段。TDD信道并不成对，其信道间距为5 MHz，载波间隔为200 kHz，发射和接收时使用相同的频率。

1.5.2　UTRA/FDD发射与接收频率区间

TS 25.101规范定义了UTRA/FDD的发射和接收（Tx-Rx）频率区间，如表1-1所示。但该规范同时也支持固定的和可变化的Tx-Rx频率区间，而且也不排除使用表1-1中之外的其他Tx-Rx频率区间。

表 1-1　Tx-Rx 频率区间（引用已经过 ETSI 允许）

频　段	Tx-Rx 频率区间/MHz
1.5.1 节中定义的第 1 种工作频段	190
1.5.1 节中定义的第 2 种工作频段	80

1.5.3　信道排列

名义上，信道间距为 5 MHz，但是该间距在特定的部署环境中可以根据具体情况进行调整，以便优化系统性能。载波间隔为 200 kHz，也就是说，载波中心频率必须是 200 kHz 的整数倍。

1.5.4　载波频率

载波频率是通过 UTRA 绝对射频信道编号（UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number，UARFCN）来说明的，表 1-2 给出了载波频率的具体数值。

表 1-2　载波频率的 UARFCN 定义（引用已经过 ETSI 允许）

	UARFCN	载 波 频 率
上行	$N_u=5\times F_{上行}$	$0\leqslant F_{uplink}\leqslant 3276.6$ MHz，F_{uplink}为上行频率（单位为 MHz）
下行	$N_d=5\times F_{下行}$	$0\leqslant F_{downlink}\leqslant 3276.6$ MHz，$F_{downlink}$为下行频率（单位为 MHz）

对于 1.5.1 节中提到的第 2 个频段来说，表 1-3 给出了附加信道的载波频率。

表 1-3　附加频段的 UARFCN 定义（引用已经过 ETSI 允许）

	UARFCN	载波频率/MHz
上行	$N_u=5\times[(F_{上行}-100\text{kHz})-1850\text{ MHz}]$	1852.5，1857.5，1862.5，1867.5，1872.5，1877.5，1882.5，1887.5，1892.5，1897.5，1902.5，1907.5
下行	$N_d=5\times[(F_{下行}-100\text{kHz})-1850\text{MHz}]$	1932.5，1937.5，1942.5，1947.5，1952.5，1957.5，1962.5，1967.5，1972.5，1977.5，1982.5，1987.5

1.5.5　UARFCN

UARFCN 的范围在表 1-4[1] 中给予了详细定义，同时 UARFCN 支持每一对

频段。

表 1-4　UTRA 绝对射频信道编号（引用已经过 ETSI 允许）

频　段	上行 UE 发射/Node B 接收	下行 UE 接收/Node B 发射
1.5.1 节中定义的第 1 种工作频段	9612～9888	10562～10838
1.5.1 节中定义的第 2 种工作频段	9262～9538，附加信道：12，37，62，87，112，137，162，187，212，237，262，287	9662～9938，附加信道：412，437，462，487，512，537，562，587，612，637，662，687

1.6　本书内容结构

本书的主要目的是为了给从事无线通信专业的技术人员或学生提供一个关于UMTS空中接口和射频工程的基本理解，作者并不希望在其中涵盖所有的知识，只是想集中介绍一些认为比较重要或者对射频工程师有所帮助的内容，为他们设计、开发、优化、操作和维护UMTS网络提供必要的实践经验。本书的主要内容如下所述：

第1章主要介绍了UMTS的概念，其中包括UMTS的定义、WCDMA的演进、UMTS设备、UMTS网络结构、UMTS频段和信道排列。

第2章主要阐述了UMTS系统的基础，其中包括UMTS网络拓扑、UMTS信令协议栈、接入层数据流、UMTS信道和信道映射、协议状态、UE与用户识别模块和系统帧结构。

第3章主要介绍了3GPP组织和UMTS标准，其中包括项目、技术标准小组、3GPP标准版本、3GPP标准编号和3GPP标准系列。

第4章主要介绍了无线资源控制（Radio Resource Control，RRC）技术，其中包括RRC消息定义、系统信息、寻呼与公告、RRC连接管理、加密和完整性保护控制、无线承载控制、UE移动性的RRC管理、测量和报告、NAS消息路由机制等。

第5章主要介绍了无线链路控制（Radio Link Control，RLC）技术，其中包括L2基础、RLC功能、RLC实体、RLC数据传输模式、RLC加密和RLC可配置参数。

第6章主要介绍了媒体接入控制（Medium Access Control，MAC）技术，其中包括MAC结构、信道映射传输逻辑、MAC帧头、传输格式合并选择、流量内容测量、MAC加密、MAC RACH功能和MAC可配置参数。

第7章主要介绍了物理层技术，其中包括正交扩频编码、扰码编码、同步编码、物理层时域结构、下行链路连接流程、上行链路连接流程、物理信道结构与信道时域结构、物理层工作流程。

第 8 章详细阐述了蜂窝重选技术，其中包括蜂窝重选标准、蜂窝重选分类、频率间蜂窝重选和 RAT 间蜂窝重选。

第 9 章主要讨论了 UMTS 中的切换机制，其中包括软切换、更软切换和硬切换；另外还包含测量控制与报告机制，例如频率间测量与报告、RAT 间测量与报告以及压缩模式。

第 10 章主要阐述了 UMTS 系统中的功率控制机制，其中包括功率控制基础、下行功率控制、上行功率控制、开环功率控制、闭环功率控制、压缩模式下的功率控制。

第 11 章主要介绍了高速下行分组接入（HSDPA）技术，并详细阐述了 HSDPA 技术的特性，其中包括 HSDPA 信道、HDSPA 物理层工作流程、HDSPA 配置参数。

第 12 章主要描述了 WCDMA 无线网络的规划，其中包括容量与覆盖范围、上行链路分析、传输模型、下行链路分析、开销信道功率分配、扰码编码规划、基站天线、WCDMA 射频规划流程。

第 13 章主要阐述了 WCDMA 射频网络优化技术，其中包括射频优化概述、射频网络优化要点、预优化准备、基于驱动测试的射频优化和基于优化的流量统计。

第 14 章主要介绍了 WCDMA 系统中转发器和塔顶放大器（Tower Mounted Amplifier，TMA）的应用，从实用的角度重点阐述了 WCDMA 系统中转发器和塔顶放大器的工程设计，并针对潜在的问题给出了一些指导性的建议。

第 15 章主要讨论了系统间干扰的问题，其中包括 WCDMA 和 CDMA2000 之间、WCDMA 和 GSM 之间、WCDMA 和 PHS 之间的干扰问题；同时还描述了相邻信道之间的性能。

第 16 章主要比较了 WCDMA 和 CDMA2000，阐述了它们之间的相似之处以及两者之间的区别。

参 考 文 献

[1] 3GPP TS 25.101，v3.16.0. User Equipment（UE）radio transmission and reception（FDD），Release 99.

第 2 章　UMTS 基础

UMTS 基础内容包括网络拓扑、协议栈、信道映射、帧结构、UE 呼叫状态以及 UE 与用户识别。因此，本章将主要阐述 UMTS 网络的拓扑和协议栈、接入层的各种功能、WCDMA 系统的信道特征以及 UMTS 中的 UE 呼叫状态和用户设备及用户识别等内容。本章中详细阐述的各个主要内容均符合 3GPP 技术规范[1-7]。

2.1　UMTS 网络拓扑

如图 2-1 所示，UMTS 系统主要由 3 大部分组成：核心网、接入网和用户设备。其中，核心网包含了所有的交换和路由单元，这些交换和路由单元负责电路交换呼叫与公共交换电话网（Public Switched Telephone Network，PSTN）之间的连接，以及分组交换呼叫与分组数据支持网（Packet Data Supporting Network，PDSN）之间的连接。同时，核心网也负责实现移动性管理、用户位置管理和认证等功能。总体上来看，WCDMA 系统的核心网功能与 GSM/GPRS 基本相似，不同之处在于，UTRAN 中引入了一个新的接口，而且接入网和用户设备几乎完全不同。

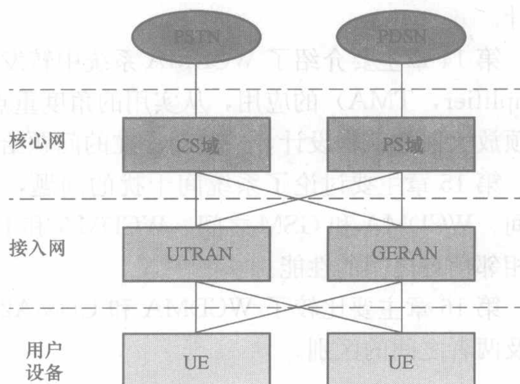


图 2-1　UMTS 网络拓扑

接入网中包含了所有与核心网实现接入时必需的无线设备。对于 WCDMA 系统来说，接入网就是 UTRAN；而对于 GSM/GPRS 来说，接入网就是 GSM/EDGE 无线接入网（GSM/EDGE Radio Access Network，GERAN）。

用户设备可以是一个移动终端，也可以是一个固定终端或者膝上电脑。在用户设备中必须包含一个 UMTS SIM 卡，该卡中包含了该用户的用户信息。

2.2　UMTS 信令协议栈

如图 2-2 所示，UMTS 信令协议栈中包含了两个协议层：接入层（Access Stratum，AS）和非接入层（Non-Access Stratum，NAS）。UMTS 的 NAS 是从 GSM 的上层演进过来的，其结构与 GSM 中基本相同。NAS 中包含了连接管理（Connection Management，CM）协议、会话管理（Session Management，SM）协议、移动性管理（Mobility Management，MM）协议和 GPRS 移动性管理（GPRS Mobility Management，GMM）协议。

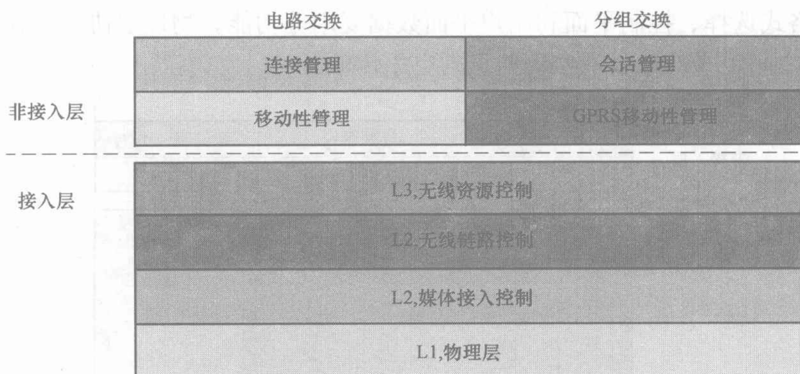


图 2-2　UMTS 信令协议栈

其中，连接管理协议负责实现电路交换呼叫功能，包括呼叫控制（如呼叫建立和呼叫释放）、短信息服务、增值服务（如呼叫转移、三方会话）；会话管理协议负责实现分组交换呼叫功能，包括呼叫建立和呼叫释放；移动性管理协议负责实现电路交换域中的移动性管理功能（如位置区域更新）；GPRS 移动性管理负责实现分组交换域中的移动性管理功能（如路由区域更新）。

接入层主要由 3 个子层组成：第 1 层（Layer 1，L1）、第 2 层（Layer 2，L2）和第 3 层（Layer 3，L3）。L1 是指物理层（Physical layer，PHY），L2 主要包含无线链路控制（Radio Link Control，RLC）子层和媒体接入控制（Medium Access Control，MAC）子层，L3 是指无线资源控制（Radio Resource Control，RRC）层。

图 2-2 中的协议栈还可以进一步划分为 4 个基本协议栈：电路交换控制平面协议栈、电路交换用户平面协议栈、分组交换控制平面协议栈和分组交换用户平面协议栈。其中，控制平面协议栈负责处理信令协议，而用户平面协议栈负责处理用户协议。为了使读者对协议栈的功能有一个更加清晰的理解，下面将对这 4 个协议栈依次进行介绍。

2.2.1　电路交换控制平面协议栈

图 2-3 给出了 UE 与 MSC 之间电路交换控制平面协议栈的示意图。在非接入层中，连接管理协议是在 UE 和 MSC 之间定义的，并负责实现呼叫建立、呼叫释放和其他业务功能。类似地，移动性管理协议也是在 UE 和 MSC 之间定义的，并负责实现 UE 的移动性管理。由于这是电路交换控制平面，因此不需要会话管理协议和 GPRS 移动性管理协议。在接入层中，RRC、RLC 和 MAC 协议是在 UE 和 RNC 之间定义的。RRC 协议负责控制无线资源的建立、释放和配置，RLC 协议负责实现拆分、连接、组合和其他 L2 的功能。MAC 协议负责实现传输格式选择、控制平面和用户平面数据复用等功能。物理层协议是在 UE 和 Node B 之间定义的，负责实现信息的空中传输。

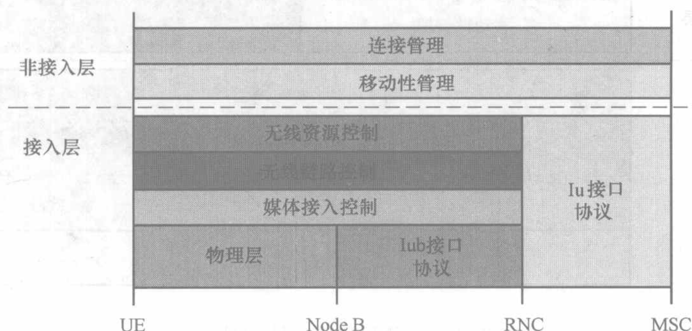


图 2-3　电路交换控制平面协议栈

2.2.2　分组交换控制平面协议栈

分组交换控制协议栈与电路交换控制协议栈非常相似，不同之处在于分组交换控制协议栈的 NAS 中没有 CM 和 MM，如图 2-4 所示。其中，分组交换控制协议栈的 SM 负责实现分组会话建立和释放功能，GMM 负责实现 UE 移动性。

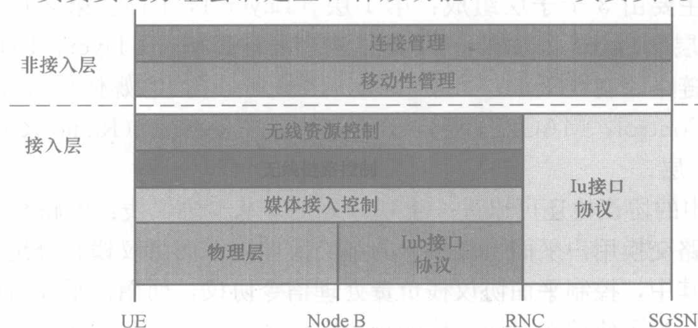


图 2-4　分组交换控制平面协议栈

另外，MSC 被 SGSN 替代，用于处理分组数据。分组交换控制平面协议栈的接入层与电路交换控制平面协议栈的接入层完全相同。

2.2.3　电路交换用户平面协议栈

图 2-5 给出了 UE 和 MSC 之间电路交换用户平面协议栈的示意图。在非接入层中，应用层由多个子层构成。例如，对于语音呼叫应用来说，顶层中处理的就是用户的实际话音信息，而顶层以下的子层传输的是话音的数字信号。在接入层中，用户平面的 RLC、MAC 和物理层协议与控制平面中的协议相同。但是，用户平面协议栈中没有 RRC 协议。RRC 协议只负责建立无线承载（Radio Bearer，RB）和信道，并不负责处理用户数据。

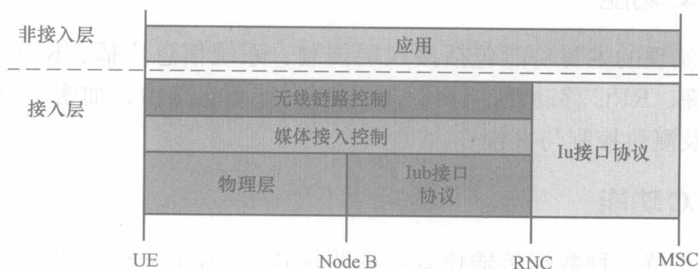


图 2-5　电路交换用户平面协议栈

2.2.4　分组交换用户平面协议栈

图 2-6 给出了 UE 和 SGSN 之间分组交换用户平面协议栈的示意图。在非接入层中，应用层主要负责处理 E-mail、数据库访问和数据下载。在接入层中，用户平面的 RLC、MAC 和物理层协议与控制平面中的协议相同。而且，用户平面协议栈中也没有 RRC 协议。但是，在 UE 和 RNC 之间存在一个分组数据汇聚协议（Packet Data Convergence Protocol，PDCP），PDCP 对于 NAS 协议（如

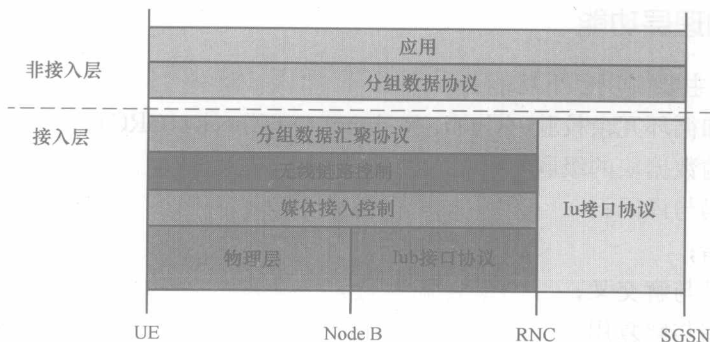


图 2-6　分组交换用户平面协议栈

PPP和IP）来说是透明的。

2.3 接入层数据流

在接入层中，除了协议层之外，还有无线承载和信道，主要负责传输各层之间的信息。其中，无线承载负责传输RRC层和RLC层之间的信令数据，同时还负责传输应用层和L2之间的用户数据；逻辑信道负责传输RLC层和MAC层之间的信息；传输信道负责传输MAC层和物理层之间的信息；物理层负责信息的空中传输。

2.3.1 RRC功能

RRC层实现的主要功能包括接入层控制、系统信息广播、RRC连接管理、无线承载管理、RRC移动性、寻呼和公告、高层消息路由、加密与完整性保护、功率控制以及测量控制与报告。

2.3.2 RLC功能

RLC层支持3种数据传输模式：透明模式（Transparent Mode，TM）、未确认模式（Unacknowledged Mode，UM）和确认模式（Acknowledged Mode，AM）。RLC层实现的主要功能包括分段、连接、组合、填充、重传控制、流控制、重复检测、顺序发送、纠错以及UE与AM逻辑信道的加密。

2.3.3 MAC功能

MAC层的主要功能包括将逻辑信道映射并复用到传输信道、数据流的优先处理、公共信道上的UE认证、流量大小测量、随机接入信道流程以及TM逻辑信道的加密。

2.3.4 物理层功能

物理层主要实现以下功能：

1）添加循环冗余校验（Cyclic Redundancy Check，CRC）；

2）传输数据块的级联；

3）编码与译码；

4）纠错；

5）交叉与解交叉；

6）复用与解复用；

7）中断传输（Discontinuous Transmission，DT）插入；

8）速率匹配；

9）功率加权与物理信道合并；

10）调制与解调；

11）扩频与扰码；

12）测量；

13）闭环功率控制；

14）软切换；

15）射频处理；

16）频率同步与时间同步；

17）物理层工作流程（如初始化系统捕获）。

2.4 UMTS 信道

UMTS 信道可以通过数据流方向、共享机制和功能来描述。下行信道是指 UTRAN 发射、UE 接收，而上行信道是指 UE 发射、UTRAN 接收。公共信道负责传输各个 UE 之间的信息，而专用信道负责传输某个 UE 的信息。逻辑信道是根据传输信息的类型（信令或用户数据）进行定义的，传输信道是根据数据传输的方式进行定义的，而物理信道是根据物理映射、信道帧结构和无线链路中物理层信息传输流程来定义的。

UMTS Release 99 定义了以下几种信道：

1. 逻辑信道

1）BCCH（Broadcast Control CHannel）——广播控制信道；

2）PCCH（Paging Control CHannel）——寻呼控制信道；

3）CCCH（Common Control CHannel）——公共控制信道；

4）DCCH（Dedicated Control CHannel）——专用控制信道；

5）DTCH（Dedicated Traffic CHannel）——专用流量信道。

2. 传输信道

1）BCH（Broadcast CHannel）——广播信道；

2）PCH（Paging CHannel）——寻呼信道；

3）FACH（Forward Access CHannel）——前向接入信道；

4）RACH（Random Access CHannel）——随机接入信道；

5）DCH（Dedicated CHannel）——专用信道。

3. 物理信道

1）PCCPCH（Primary Common Control Physical CHannel）——主公共控制物理信道；

2）SCCPCH（Secondary Common Control Physical CHannel）——次公共控制物理信道；

3）PICH（Paging Indicator CHannel）——寻呼指示信道；

4）PRACH（Physical Random Access CHannel）——物理随机接入信道；

5）ATCH（Acquisition Indicator CHannel）——捕获指示信道；

6）CPICH（Common Pilot CHannel）——公共导频信道；

7）DPDCH（Dedicated Physical Data CHannel）——专用物理数据信道；

8）DPCCH（Dedicated Physical Control CHannel）——专用物理控制信道；

9）SCH（Synchronization CHannel）——同步信道。

除了Release 99信道之外，还包括Release 4信道和Release 5信道。Release 4信道包括公共分组信道（Common Packet Channel，CPCH）、物理公共分组信道（Physical Common Packet Channel，PCPCH）和下行共享信道（Downlink Share Channel，DSCH）。其中，CPCH和PCPCH分别为上行传输信道和上行物理信道，而DSCH为下行传输信道。

Release 5支持高速下行共享信道，它包含了一些新的信道：高速下行共享信道（High-Speed Downlink Share Channel，HS-DSCH）、高速物理下行共享信道（High-Speed Physical Downlink Share Channel，HS-PDSCH）、下行高速共享控制信道（High-Speed Share Control Channel，HS-SCCH）和上行高速专用物理控制信道（High-Speed Dedicated Physical Control Channel，HS-DPCCH）。其中，HS-DSCH为下行传输信道，HS-PDSCH和HS-SCCH为下行物理信道，HS-DPCCH为上行物理信道。

2.5　信道映射

图2-7给出了Release 99规范中所有可能的信道映射。

在图2-7中，逻辑信道先被映射到传输信道上，传输信道再被映射到物理信道上。根据不同的信道类型，这种映射可能是一对一的，也可能是一对多的。必须注意，不是所有的映射都是同时发生的。但是，有些映射几乎是同时发生。例如，3个传输话音信号的DTCH信道可能会同时映射到3个DCH信道上。

根据不同的逻辑信道类型，RLC可以配置成TM、UM或AM模式。物理信道CPICH、SCH、DPCCH、AICH和PICH只传输物理层中定义的内容，并不传输更高层中的信令和数据。

为了使读者更清楚信道映射过程的细节，下面将详细介绍各独立信道的映射过程。

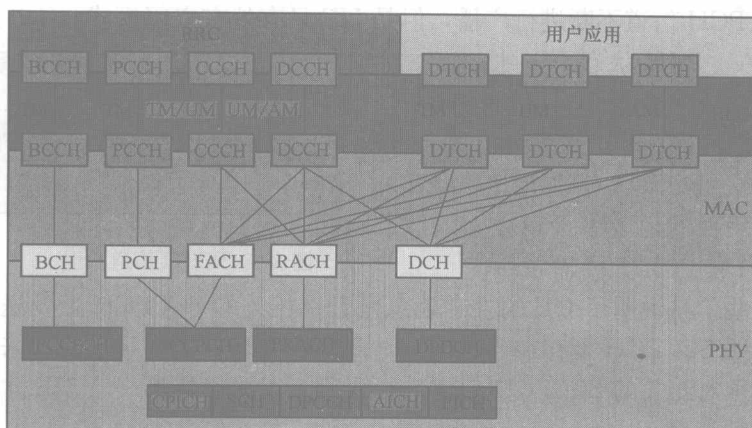


图 2-7　Release 99 规范中的信道映射

2.5.1　BCCH 信道映射

BCCH 是一个下行公共逻辑信道，它负责传输 UE 在接入系统时所需的系统信息。负责传输 RRC 信令的无线承载利用 RLC 数据传输模式中的某种模式来转移到逻辑信道上。对于 BCCH 信道，RLC 始终配置成透明模式。BCCH 信道通常不断进行广播，以便系统信息每隔 20 ms 重复一次。在初始化系统捕获或者当搜寻到一个新的蜂窝单元之后，UE 负责监视 BCCH 信道，并定期更新最新的系统信息。

图 2-8 给出了 BCCH 信道映射的示意图。在 UTRAN 一侧，逻辑信道 BCCH 先映射到传输信道 BCH，传输信道 BCH 再映射到物理信道 PCCPCH，该映射是一对一的过程。在 UE 一侧，映射过程刚好相反，也就是说，PCCPCH 信道先映射到 BCH 信道，BCH 信道再映射到 BCCH 信道。

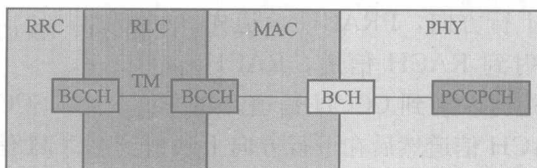


图 2-8　BCCH 信道映射

2.5.2　PCCH 信道映射

PCCH 也是一个下行公共逻辑信道，它通过发送寻呼消息来对 UE 进行寻呼，并与物理上的寻呼指示信道（Paging Indicator Channel，PICH）相互关联。对于 PPCH 信道来说，RLC 层通常配置成透明模式。

图 2-9 给出了 PCCH 的信道映射示意图。在 UTRAN 一侧，PCCH 信道先映射到 PCH 信道，PCH 信道再映射到 SCCPCH 信道，该映射也是一个一对一的过程。

虽然PCH信道不断进行广播，但是UE只有处在空闲模式、Cell _ PCH状态或URA _ PCH状态下，才会在寻呼过程中监控PICH信道。空闲模式、Cell _ PCH状态或URA _ PCH状态的定义将在本章后面的内容中予以介绍。PICH信道负责传输指示信息，这些信息说明了UE的寻呼消息是否在相关的SCCPCH上发送。如果指示信息说明SCCPCH上存在寻呼信息，那么所有在指定寻呼时机中来读取指示的UE必须对相关的SCCPCH信道进行译码，以便确定哪一个UE才应该读取全部的寻呼消息。

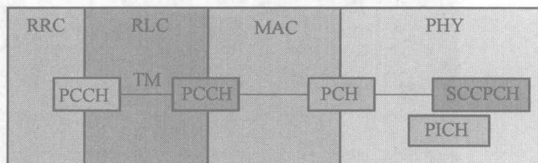


图2-9 PCCH信道映射

2.5.3 空闲模式下CCCH信道与RACH/FACH公共信道的映射

在空闲模式下，UE没有分配专用的信道。图2-10给出了CCCH信道与RACH/FACH信道之间信道映射的示意图。在UTRA一侧和下行方向，CCCH信道先映射到FACH信道，FACH信道再映射到SCCPCH信道；在上行方向，PRACH信道先映射到RACH信道，RACH信道再映射到CCCH信道。在UE一侧，SCCPCH信道先映射到FACH信道，FACH信道然后在下行方向上映射到CCCH信道；在上行方向，CCCH信道先映射到RACH信道，RACH信道再映射到PRACH。

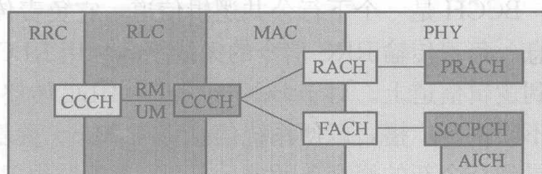


图2-10 CCCH/RACH/FACH之间的信道映射

对于CCCH信道来说，RLC通常在上行方向配置成透明模式，在下行方向配置成未确认模式。与RACH信道相关的是，UE会根据物理随机接入流程（在第7章中将会讨论）来发送PRACH信道前导给UTRAN；然后，当UTRAN收到从UE发送来的前导后，会在FACH信道上进行响应；该响应稍后会按照实际的捕获指示或相反的捕获指示形式在AICH信道上发送。根据从UTRAN处接收到的实际捕获指示，UE开始发送PRACH消息。如前所述，AICH信道不会传输上层的信令或用户数据。

2.5.4 连接模式下DCCH和DTCH信道与RACH/FACH公共信道的映射

在连接模式下，不存在CCCH信道，取而代之的是用来传输信令的DCCH

信道。DCCH 和 DTCH 信道可能会映射到 RACH 和 FACH 信道及其相关物理信道。图 2-11 给出了 DCCH 和 DTCH 信道与 RACH 和 FACH 信道之间映射的示意图。在 UTRAN 一侧，DCCH 信道先映射到 FACH 信道，然后在下行方向映射到 SCCPCH 信道；另外，如果没有分配专用的传输和物理信道，为了发送低速率的突发数据，DTCH 信道也可能会先映射到 FACH 信道，再映射到 SC-CPCH 信道。在上行方向，PRACH 信道先映射到 RACH 信道，再映射到 DCCH 信道（用于传输信令）和 DTCH 信道（用于传输数据）。

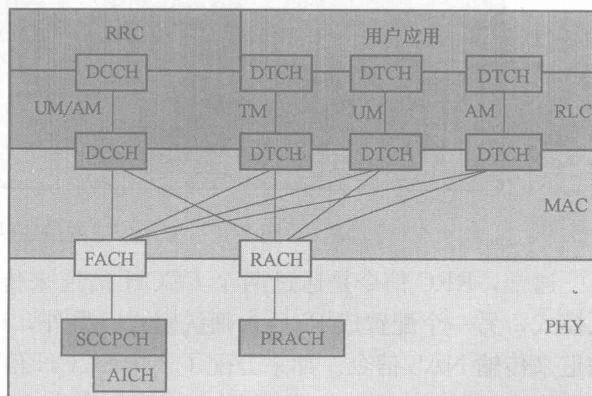


图 2-11 DCCH 和 DTCH 与 FACH 和 RACH 之间的信道映射

在 UE 一侧，DCCH 和 DTCH 信道先映射到 RACH 信道，然后在上行方向映射到 PRACH 信道；在下行方向，SCCPCH 信道先映射到 FACH 信道，再映射到 DCCH 信道（用于传输信令）和 DTCH 信道（用于传输数据）。

在 DCCH 信道映射到 RACH 和 FACH 信道的过程中，RLC 可以配置成未确认模式，也可以配置成确认模式。在 DTCH 信道映射到 RACH 和 FACH 信道的过程中，RLC 可以配置成透明模式、未确认模式或确认模式。连接模式中的 RACH 和 FACH 信道协议与空闲模式中是相同的，如果 UE 需要发送信令消息或数据给 UTRAN，那么 UE 会执行与空闲模式中相同的 PRACH 信道随机接入流程。

2.5.5 专用信道的信道映射

专用信道 DCCH、DTCH、DCH 和 DPDCH 用来传输信令信息以及 UT-RAN 与独立用户之间的数据，这些专用信道是在话音呼叫或数据会话过程被激活时分配的。图 2-12 给出了这些专用信道的信道映射示意图。

在图 2-12 中，DCCH 和 DTCH 信道可以映射到单个 DCH 信道上，也可以映射到独立的 DCH 信道上。通常，所有的 DCH 信道都可以映射到独立的 DP-DCH 信道上。但是，在所谓的多种编码模式中，DCH 信道可以映射到 DPDCH 信道上。其中，与 DPDCH 信道相关的是单个 DPCCH 信道，该 DPCCH 信道携带了物理层中产生各种控制信息，包括导频、功率控制、传输格式合并索引和反馈指示信息。

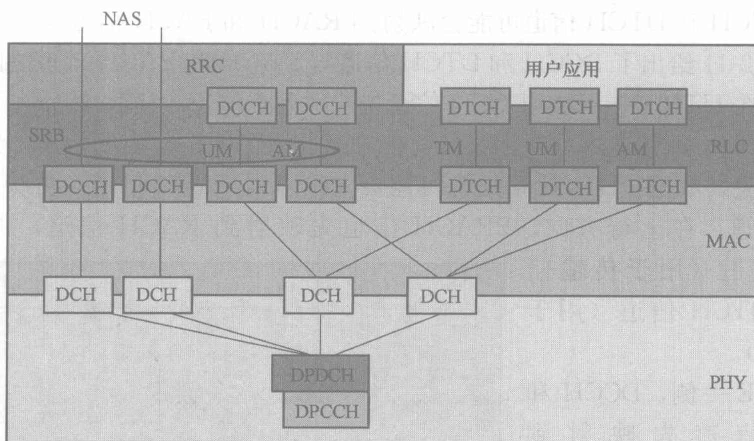


图 2-12 专用信道的信道映射

通常，RRC信令是通过两个DCCH信道来传输，其中一个配置成RLC确认模式，另一个配置成RLC未确认模式。另外，还可能分配1个或2个DCCH信道来传输NAS信令。如果分配了2个DCCH信道，那么其中一个信道用来传输高优先级消息，另一个信道用来传输低优先级消息。上面所述的3个或4个DCCH信道也称为信令无线承载（Signaling Radio Bearer，SRB）。

用来传输用户数据的DTCH信道的数量与应用的类型密切相关。例如，通常分配3个DTCH信道来传输3种不同类型的话音信息［由自适应多速率（AMR）话音合成器产生］。

2.5.6 CPCH、DSCH和HS-DSCH的信道映射

图2-13给出了CPCH和DSCH信道映射的示意图。CPCH是一个上行传输信道，CPCH信道映射到它上一级的DCCH和DTCH逻辑信道，以及它下一级的PCPCH物理信道。PCPCH是一个上行物理信道，负责传输CPCH信道。PCPCH信道接入传输过程由1个或多个接入前导、1个冲突检测前导、1个DPCCH功率控制前导和1个有效

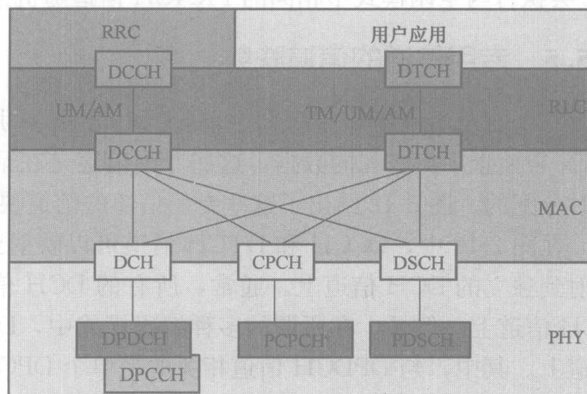


图 2-13 CPCH和DSCH信道映射

长度（10 ms 级）消息组成。

下行共享信道（Downlink Shared Channel，DSCH）是一个下行传输信道，该信道由多个 UE 共享。DSCH 信道与一个或多个下行 DCH 相关，并通过智能天线来发射，覆盖范围可以是整个蜂窝的单元，也可以是其中一部分区域。DSCH 信道映射到它上一级的 DCCH 和 DTCH 逻辑信道，以及它下一级的物理下行共享信道（Physical Downlink Shared Channel，PDSCH）。PDSCH 信道用来传输 DSCH 信道，在每个无线帧中被分配给一个或多个 UE。在每个无线帧中，UTRAN 可能会在相同的 PDSCH 根 OVSF 情况下，为不同的 UE 分配不同的 PDSCH。

HS-DSCH 是一个由多个 UE 共享的下行传输信道，是 Release 5 规范中新的信道类型，可以提供 HSDPA 业务。HS-DSCH 信道与 1 个下行 DPCH、1 个或多个高速共享控制信道（High-Speed Shared Control Channel，HS-SCCH）相关，并通过智能天线来发射，覆盖范围可以是整个蜂窝的单元，也可以是其中一部分区域。图 2-14 给出了HS-DSCH 信道映射的示意图。在图2-14 中，HS-DSCH 映射到它上一级的 DCCH 和 DTCH 逻辑信道，以及它下一级的 HS-PDSCH 物理信道，HS-PDSCH 用来传输 HS-DSCH。HS-SCCH 是一个下行物理信道，用来传输 HS-DSCH 信道中的下行信令。

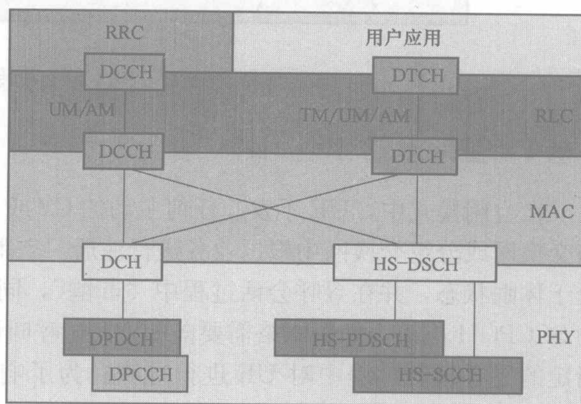


图 2-14　HS-DSCH 信道映射

2.6 协议状态

图2-15 详细描述了空闲模式、UTRAN 连接模式、GSM 连接模式和 GPRS 分组转移模式的原理。在图 2-15 中，还可以发现每两种模式之间产生的转换原理，这种转换可能发生在空闲模式和 UTRAN 连接模式之间，也可能发生在 UTRAN RRC 连接模式和 GSM 连接模式（CS 域业务）之间，或者 UTRAN RRC 连接模式和 GSM/GPRS 分组模式（PS 域业务）之间。在接下来的内容中，我们将详细介绍空闲模式以及 UTRAN 连接模式中每个协议栈的状态。

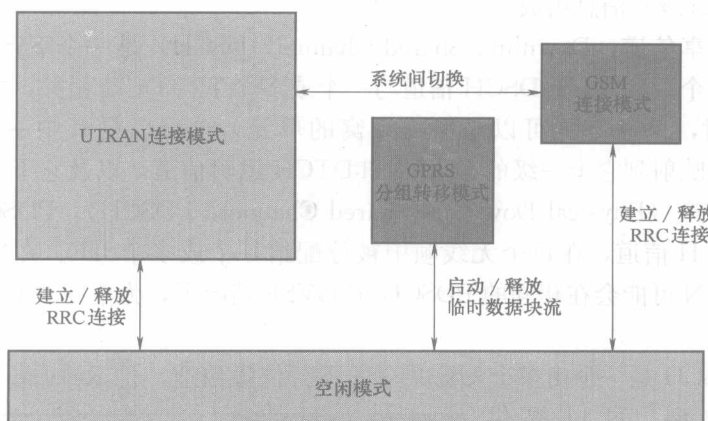


图 2-15　各种模式及其转换

2.6.1　空闲模式

在空闲模式中，UE不发起任何主动的CS或PS呼叫请求。UE可能会在电路交换网或分组交换网中根据业务进行注册。空闲模式下的UE大多数时间内都处于休眠状态，并在寻呼会话过程中"苏醒"，同时负责监控PICH信道和相关的SCCPCH信道。如果网络需要向UE发送呼叫请求，UTRAN首先必须在UE指定的寻呼会话过程中对UE进行寻呼。为了响应寻呼过程，UE会请求UTRAN建立一个RRC连接。而当UE需要发起一个呼叫连接时，也会请求UTRAN建立一个RRC连接。所有用来建立RRC连接的UE请求都发送到RACH信道上。

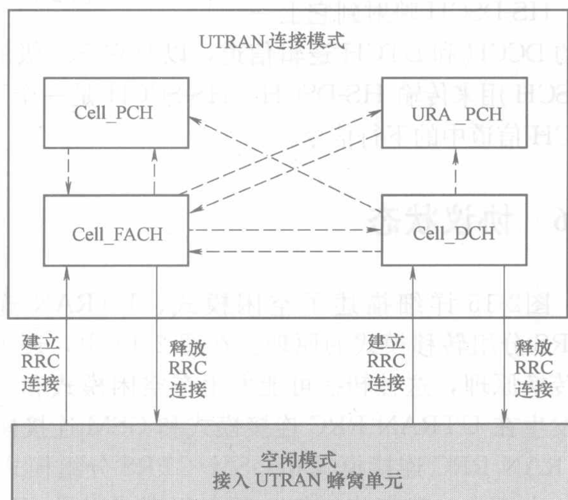


图 2-16　空闲模式

如图2-16所示，在连接模式下，当UE开机或刚刚搜寻到UTRAN蜂窝单元或一个RRC连接刚刚从Cell_FACH状态或Cell_DCH状态下释放时，UE可能会进入空闲模式。在空闲模式下，无论UE移动到一个新的位置还是一个新的路由区域中时，

UE 都需要执行一个位置或路由区域更新流程。其中，位置或路由区域中可能包含了多个蜂窝单元。因此，UTRAN 必须在所有的蜂窝中根据 UE 的位置或路由区域对其进行寻呼，此时 UE 的位置或路由区域信息必须是最新的。

在空闲模式下，UTRAN 通过国际移动用户识别（IMSI）、临时移动用户识别（TMSI）和分组交换临时移动用户识别（P-TMSI）来对 UE 进行寻址。

2.6.2 连接模式

在连接模式下，UE 已经与 UTRAN 建立了一个 RRC 连接，用来交换信令消息。在 3GPP 规范中，指定了 4 种连接模式状态：Cell _ DCH 状态、Cell _ FACH 状态、URA _ PCH 状态和 Cell _ PCH 状态。但是，有些网络设备提供商并没有将 Cell _ PCH 状态单独作为一种连接模式状态，只是将其作为 URA _ PCH 状态的一种特例。

1. Cell _ DCH 状态

在 Cell _ DCH 状态中，会为 UE 分配一个专用物理信道，如图 2-17 所示。在图 2-17 中，UE 可以从空闲模式进入 Cell _ DCH 状态（此时 RRC 连接已建立），或者从 Cell _ FACH 状态进入 Cell _ DCH 状态（此时专用物理信道已分配）。根据动态连接信息，UTRAN 可以知道哪一个蜂窝单元正在为 UE 提供服务。当 UE 处于 Cell _ DCH 状态时，由于 UE 和 UTRAN 通过专用物理信道进行通信，因此不需要进行寻址。如果 UE 从一个蜂窝单元覆盖区域移动到一个新的蜂窝单元覆盖区域，那么当原来蜂窝单元中的专用物理信道被释放时，在新的蜂窝单元中就会建立新的专用物理信道。当 RRC 连接被释放时，UE 就会自动转换到空闲模式，或者通过明确的信令来转换到其他连接模式。

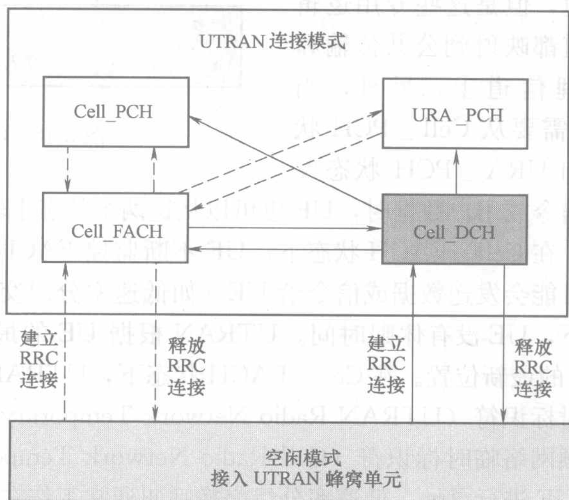


图 2-17 Cell _ DCH 状态

电路交换呼叫过程中需要专用物理信道来保证可靠的吞吐率，因此，电路交换呼叫过程通常都工作于 Cell _ DCH 状态下。高数据速率分组交换呼叫过程也工作于 Cell _ DCH 状态下，尤其是需要保证可靠吞吐率的情况下。但是，低数

据速率分组交换呼叫过程工作在Cell_FACH状态下，这主要是为了节省网络资源。

2. Cell_FACH状态

在Cell_FACH状态中，UE没有分配专用物理信道，如图2-18所示。在图2-18中，UE可以从空闲模式或者连接模式中的其他3种状态进入Cell_FACH状态。当RRC连接已经建立但专用物理信道还没有建立时，UE会从空闲状态转换到Cell_FACH状态。当专用物理信道由于低活动率而被释放时，UE也可以从Cell_DCH状态进入Cell_FACH状态。在这种情况下，仍然会分配专用逻辑信道，但是这些专用逻辑信道都映射到公共传输和物理信道上。另外，当UE需要从Cell_PCH状态和URA_PCH状态发送信令或用户数据时，UE也可以从这两个状态下转换到Cell_FACH状态。

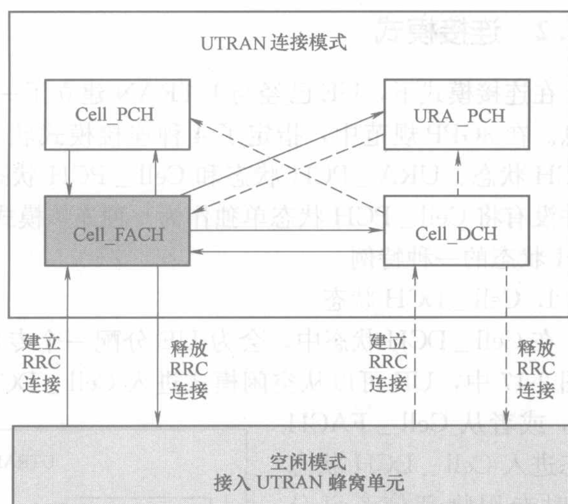


图2-18 Cell_FACH状态

在Cell_FACH状态下，UE不断监控FACH信道，这是因为UTRAN随时可能会发送数据或信令给UE（如低速率分组交换数据）。在Cell_FACH状态下，UE没有休眠时间。UTRAN根据UE的最后一次蜂窝更新流程来掌握UE的最新位置。在Cell_FACH状态下，UTRAN可以利用UTRAN射频网络临时标识符（UTRAN Radio Network Temporary Identifier，U-RNTI）或蜂窝射频网络临时标识符（Cell Radio Network Temporary Identifier，C-RNTI）来对UE进行寻址。低速率分组交换呼叫通常工作在Cell_FACH状态下，因为该过程不需要专用信道来提供很高的吞吐率。

3. URA_PCH状态

在URA_PCH状态下，UE没有分配专用物理信道，而且不支持上行活动，如图2-19所示。在图2-19中，UE可以从Cell_FACH或者Cell_DCH状态进入URA_PCH状态，这种状态转换过程只有在当分组交换呼叫过程中活动率较低时才会发生。在URA_PCH状态下，UE大多数时间都处于休眠状态，而且只在寻呼会话过程中"苏醒"，同时负责监控PICH信道和相关的PCH信

道。如果 UTRAN 需要发送数据或信令给 UE，那么 UTRAN 首先必须在寻呼会话过程中对 UE 进行寻呼；然后，UE 再转换到 Cell _ FACH 状态，并通过 RACH 信道进行响应。如果 UE 需要在 RACH 信道上发送数据或信令，也可以转换到 Cell _ FACH 状态。

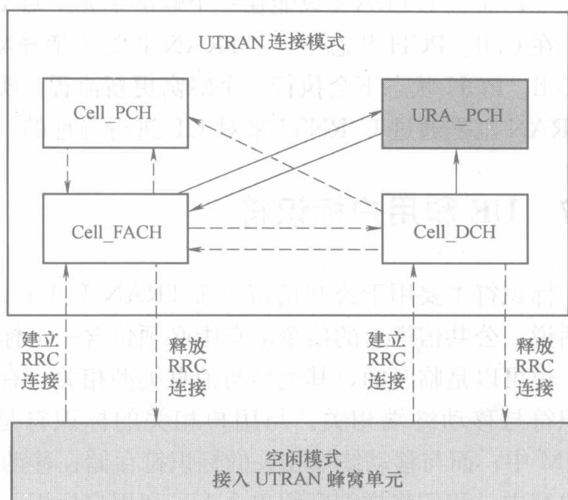


图 2-19 URA _ PCH 状态

在 URA _ PCH 状态下，UTRAN 非常清楚（UTRAN Registeration Area，UTRAN 注册区域）URA 区域中 UE 的位置，因为当 UE 移动到一个信道 URA 区域中时，必须执行一个 URA 更新流程。UTRAN 必须在 URA 所有的蜂窝单元中对 UE 进行寻呼。与 Cell _ FACH 状态中类似，UTRAN 也是通过 U-RNTI 来对 UE 进行寻址。

4. Cell _ PCH 状态

Cell _ PCH 状态与 URA _ PCH 状态非常相似，不同之处在于当前包含的区域仅局限于一个蜂窝单元，如图 2-20 所示。在图 2-20 中，UE 可以从 Cell _ FACH 状态或 Cell _ DCH 状态转换到 Cell _ PCH 状态，这种状态转换过程只有在当分组交换呼叫过程中活动率较低时才会发生。在 Cell _ PCH 状态下，UE 大多数时间都处于休眠状态，而且只在寻呼会话过程中“苏醒”，同时负责监控 PICH 信道和相关的 PCH 信道。如果 UTRAN

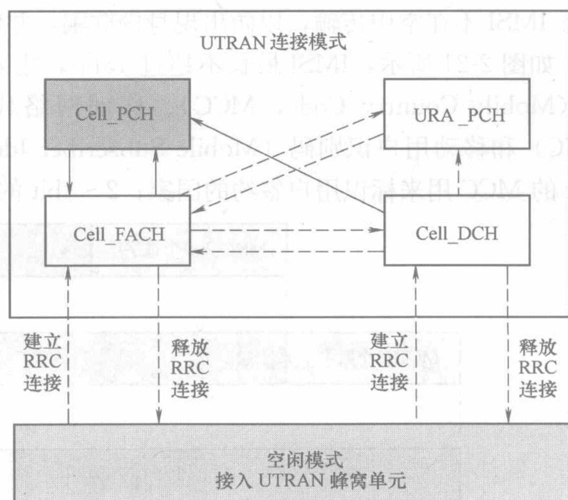


图 2-20 Cell _ PCH 状态

需要发送数据或信令给 UE，那么 UTRAN 首先必须在寻呼会话过程中对 UE 进行寻呼，而且 UTRAN 只能在一个蜂窝单元中对 UE 进行寻呼。

在 Cell _ PCH 状态下，UTRAN 非常清楚蜂窝单元中 UE 的位置，因为 UE 在 Cell _ PCH 状态下会执行一个蜂窝更新流程。类似地，在 Cell _ PCH 状态下，UTRAN 也是通过 U-RNTI 来对 UE 进行寻址的。

2.7 UE 和用户标识符

标识符主要用于公共信道上 UTRAN 和 UE 之间的信令消息交换过程，换句话说，公共信道上的信令消息中必须包含一个标识符。标识符可以是永久有效的，也可以是临时的，其类型与消息类型相关。有些标识符与用户相关，而有些标识符与移动终端相关。与用户相关的标识符是由核心网指定的，并存储在 USIM 中；而与移动终端相关的标识符存储在移动终端内的存储器中。在接下来的内容中，我们将详细介绍单个 UE 和用户标识，包括 IMSI、TMSI、射频临时标识（Radio Temporary Identity，RTI）和国际移动站设备标识（International Mobile Station Equipment Identity，IMEI）。

2.7.1 国际移动用户标识

国际移动用户标识（IMSI）是一个永久有效的用户标识，存储在 USIM 和 HLR 中。当 UE 在网络中进行初次注册时，是通过 IMSI 来进行身份识别的。一旦 UE 在网络中注册成功后，网络会为用户指定一个临时的标识符。在正常情况下 IMSI 不在空中传输，以防出现身份欺骗，并保护用户的安全性。

如图 2-21 所示，IMSI 最长不超过 15bit，主要由 3 部分构成：移动国家代码（Mobile Country Code，MCC）、移动网络代码（Mobile Network Code，MNC）和移动用户识别码（Mobile Subscriber Identification Number，MSIN）。3bit 的 MCC 用来标识用户签约的国家；2～3bit 的 MNC 用来标识用户归属地的

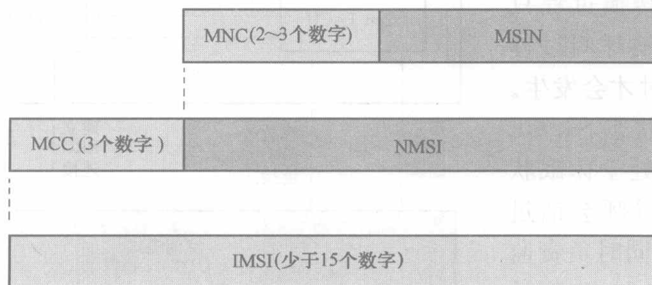


图 2-21 IMSI 结构

公共陆地移动网络（Public Land Mobile Network，PLMN），MSIN 用来标识 PLMN 中用户的身份。MNC 和 MSIN 一起被称为国家移动用户标识（National Mobile Subscriber Identity，NMSI）。

其中，MCC 由国际电信联盟（International Telecommunications Union，ITU）[其前身为国际电报电话咨询委员会（Consultative Committee on International Telephone and Telegraph，CCITT）] 负责分配，NMSI 由各个国家自行分配。如果一个国家拥有多个 PLMN，那么必须为 PLMN 指定惟一的 MNC。

2.7.2 临时移动用户标识

当用户在网络中成功注册后，将会指定一个 TMSI 或 P-TMSI，以便提供网络服务。如前所述，利用 TMSI 或 P-TMSI 代替 IMSI 可以防止出现 IMSI 欺骗，同时还可以保护用户的身份。VLR 用来为电路交换业务指定 TMSI，而 SGSN 用来为分组交换业务指定 P-TMSI。其中，TMSI 主要由 UE 及所在的 VLR 控制区域使用，而 P-TMSI 主要由 UE 和 SGSN 控制的区域使用，这就是 3GPP 规范中为什么没有具体指定标识符内部结构和编码方案的原因所在。

TMSI 和 P-TMSI 的长度为 32 位，这 32 位由 0 和 1 组成。其中，两个最高有效位用来说明是电路交换 TMSI 还是分组交换 P-TMSI。对于电路交换 TMSI 来说，最高有效位可以为 00、01 或 10；对于分组交换 P-TMSI 来说，最高有效位均为 11。除了这两个有效位之外，其他位都是任意的，并由 VLR 或 SGSN 指定。

2.7.3 无线网络临时标识

当 UE 进入 Cell _ FACH 状态或 Cell _ DCH 状态时，UTRAN 通常会为 UE 指定一个 U-RNTI 标识符。在 U-RNTI 顶部，UTRAN 通常会同时为 UE 指定一个 C-RNTI 标识符。U-RNTI 的长度为 32 位，其中 12 位用于 RNC 服务，20 位用于 RNC 的 RNTI 服务；C-RNTI 的长度为 16 位。

当 UE 处于连接模式时，RRC 通常利用 U-RNTI 来实现 UTRAN 和 UE 之间公共信道上的信令消息交换功能，其中最典型的例子包括蜂窝单元更新流程、寻呼流程和所有无线承载分配、释放和重新配置流程中的信令消息交换。当 DCCH 和 DTCH 信道映射到 FACH 或 RACH 信道时，在 MAC 层中通常使用 C-RNTI 标识符。但是，C-RNTI 标识符只能在 Cell _ FACH 状态下使用。

2.7.4 国际移动站设备标识

IMEI 是一个由厂家指定的永久有效的标识符，它由 15 位十六进制的阿拉伯数字组成。其中，前面 6 位数字构成了类型批准代码（Type Approval Code，

TAC)，TAC码用来说明移动站获得批准通过以及批准编号的国家，类型批准意味着移动站已经通过了移动站一致性规范（Mobile Station Conformance Specification，MSCS）的测试；IMEI标识符中接下来的2位称为最后装配码（Final Assembly Code，FAC)，用来说明移动站制造或最后装配时的地点；就下来的6位是序列号（Serial Number，SNR)，SNR由制造商指定的惟一标识符；最后1位是备用的数字。

与IMSI类似，IMEI也不会在无线连接中传输，但有两点不同：首先，网络要求UE必须发送IMEI，用来核对其有效性；其次，如果UE没有有效IMEI、TMSI或P-TMSI，IMEI可以在RC连接请求消息中用于建立紧急呼叫。

2.8 系统帧结构

在UMTS系统操作中，有两个非常重要的帧结构编号：系统帧编号（System Frame Number，SFN）和连接帧编号（Connection Frame Number，CFN)。

2.8.1 系统帧编号

蜂窝单元中对系统时间最重要的概念就是SFN，SFN每10 ms增加1，并每隔40.96 s重复一次。因此，SFN的范围为0～4095。UTRAN每隔20 ms就在BCH信道上发送一次SFN，BCH信道通常映射到PCCPCH物理信道上。

UMTS通常部署成异步系统，这就意味着各Node B之间的帧结构不是同步的。各Node B之间的帧边界通常可以在时间上进行补偿，而且各Node B也可能会在时间上发生偏移，因此各Node B的SFN值也不尽相同。

SFN在很多流程中具有重要作用。例如，在寻呼流程中，UE必须监控的寻呼指示就依赖于UE的IMSI和服务Node B的SFN。另一个例子就是切换流程。在切换流程中，UE在进行软切换之前，必须报告UE当前服务蜂窝单元SFN与新蜂窝单元SFN之间的测量时间差。因此，UTRAN可以为新的蜂窝单元配置专用的信道，这样新蜂窝单元的帧结构就可以非常接近当前服务单元的帧结构。这样当UE在多个Node B之间进行软切换时，就可以合并多种符号了。

2.8.2 连接帧编号

CFN用来标识专用物理信道（Dedicated Physical Channel，DPCH）的帧结构。根据当前服务蜂窝单元的SFN，CFN在建立DPCH信道时首先进行初始化。之后，CFN每隔10 ms增加1，并每隔2.56 s重复一次，因此CFN的范围为0～255。CFN从不在无线链路中传输，并由UE和UTRAN保持。CFN也在很多流程中具有重要作用，如软切换和加密流程。

2.9 小结

在学习和理解UMTS的过程中，必不可少的内容包括网络拓扑、协议栈、UMTS信道和信道映射、帧结构、UE呼叫状态以及UE和用户标识符。从网络拓扑的角度来说，UMTS系统主要由3大部分组成：核心网、接入网和用户设备。其中，UMTS核心网与GSM/GPRS系统的核心网非常相似；UMTS的接入网是UTRAN，UTRAN采用WCDMA技术；用户设备可以是移动终端或膝上电脑，这些终端设备中包含了一个USIM卡，用来存储用户信息。

UMTS协议栈可以划分为两个子层：接入层和非接入层。UMTS非接入层与GSM的非接入层基本相同，而UMTS接入层主要由物理层、RLC层、MAC层和RRC层组成。协议栈可以进一步分为4个基本协议栈：电路交换控制平面协议栈、电路交换用户平面协议栈、分组交换控制平面协议栈和分组交换用户平面协议栈。

在接入层中，无线承载和信道用来传输各层之间的信令和数据。其中，无线承载负责传输RRC层和RLC层之间的信令数据，同时还负责传输应用层和L2之间的用户数据；逻辑信道负责传输RLC层和MAC层之间的信息；传输信道负责传输MAC层和物理层之间的信息；物理层负责信息的空中传输。

UMTS信道都是根据数据流方向、共享机制和功能来定义的。下行信道是指UTRAN向UE发送信息，而上行信道则是指UE向UTRAN发送信息。公共信道由各个UE之间共享，而专用信道只负责传输某个UE的信息。逻辑信道是根据传输信息的类型（信令或用户数据）进行定义的，传输信道是根据数据传输的方式进行定义的，而物理信道是根据物理映射、信道帧结构和无线链路中物理层信息传输流程来定义的。

信道映射过程负责将逻辑信道映射到传输信道，并将逻辑信道映射到物理信道。根据信道的不同类型，映射方式可以是一对一的，也可以是一对多的。但是，不是所有的映射过程都是同时发生的。

UE可以处于空闲模式，也可以处于连接模式。在空闲模式下，UE不发起任何主动的CS或PS呼叫请求。在连接模式下，UE与UTRAN之间存在一个RRC连接，UE可以处于Cell_DCH状态、Cell_FACH状态、URA_PCH状态或Cell_PCH状态。当建立了RRC连接后，UE就会从空闲模式转换到Cell_DCH状态，或者在建立专用物理信道后从Cell_FACH状态转换到Cell_DCH状态。UE可以从空闲模式或者连接模式中的其他3种状态进入Cell_FACH状态。当建立了RRC连接但专用物理信道还没建立时，UE就会从空闲模式进入Cell_FACH状态；当专用物理信道释放时，UE就会从Cell_DCH

状态转换到 Cell _ FACH 状态。另外，当 UE 处于 Cell _ PCH 状态或 URA _ PCH 状态并需要发送信令或用户数据时，UE 就必须转换到 Cell _ FACH 状态；而且，在分组交换呼叫过程中，如果活动率较低，UE 就会从 Cell _ FACH 状态或 Cell _ DCH 状态转换到 URA _ PCH 状态或 Cell _ PCH 状态。

当 UTRAN 和 UE 在公共信道上进行信令消息交换时，就需要一个标识符。根据消息的不同类型，标识符可以是永久有效的，也可以是临时的；标识符既可以是与用户相关的，也可以是与移动终端相关的。与用户相关的标识符由核心网指定，存储在 USIM 卡中，可以在任何移动终端中使用；而与移动终端相关的标识符存储在移动终端的存储器中，这些标识符包括 IMSI、TMSI、RNTI 和 IMEI。

SFN 和 CFN 对于 UMTS 系统的操作非常重要。SFN 是系统呼叫过程中系统时间必不可少的内容，SFN 每隔 10 ms 增加 1，并每隔 40.96 s 重复一次。每 20 ms，UTRAN 就会在 BCH 信道上广播一次 SFN。SFN 在很多流程中使用，例如寻呼和切换流程。

CFN 用来具体指明 DPCH 信道的帧结构。当 DPCH 信道建立后，CFN 就会根据当前服务蜂窝单元的 SFN 进行初始化。CFN 每隔 10 ms 增加 1，并每隔 2.56 s 重复一次。CFN 也在很多流程中使用，例如切换和加密流程。

参 考 文 献

[1] 3GPP TS 21.905，v5.8.0. Vocabulary for 3GPP Specifications，Release 5.

[2] 3GPP TS 23.003，v5.8.0. Numbering，Addressing and Identification，Release 5.

[3] 3GPP TS 24.007，v5.1.0. Mobile radio interface signaling layer 3；General Aspects，Release 5.

[4] 3GPP TS 24.008，v5.12.0. Mobile radio interface signaling layer 3 Specifications；Core network protocols；Stage 3，Release 5.

[5] 3GPP TS 25.211，v5.3.0. Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels（FDD），Release 5.

[6] 3GPP TS 25.301，v5.2.0. Radio Interface Protocol Architecture，Release 5.

[7] 3GPP TS 25.331，v5.7.1. Radio Resource Control（RRC）protocol specifications，Release 5.

第 3 章　3GPP 与 UMTS 标准概览

第 3 代移动通信伙伴计划（The 3rd Generation Partnership Project，3GPP）建立于 1998 年 12 月，它不是一个官方的机构，但它将多个电信标准机构集合在了一起，这些标准机构统称为 3GPP 官方合作伙伴。目前，3GPP 官方合作伙伴包括日本的无线工业和商业协会（Association of Radio Industry and Business，ARIB）、北美的电信行业计划联盟（Alliance for Telecommunications Industry Solution，ATIS）、中国通信标准协会（China Communications Standards Association，CCSA）、欧洲电信标准协会（European Telecommunication Standards Institute，ETSI）、韩国的电信技术协会（Telecommunication Technology Association，TTA）和日本的电信技术委员会（Telecommunication Technology Committee，TTC）。

除了这些官方的合作伙伴之外，为了实现市场需求的一致性，3GPP 中还包括了另一类合作伙伴，称为市场代表合作伙伴（Market Representation Partners，MRP）。目前，MRP 包括中国的 TD-SCDMA 论坛、英国的全球移动支撑协会（Global Mobile Suppliers Association，GMSA）、爱尔兰的 GSM 协会、英国的 IPv6 论坛和 UMTS 论坛、美国的 3G 美国以及中国的 TD-SCDMA 行业联盟。另外，一些处于观察者状态的组织和机构也允许加入到 3GPP 中，因为他们将来很有可能成为官方合作伙伴。目前，这些观察者包括美国的电信行业协会（Telecommunication Industry Association，TIA）、加拿大 ICT 标准咨询委员会（ICT Standard Advisory Council of Canada，ISACC）和澳大利亚通信行业论坛（Australian Communication Industry Forum，ACIF）。

3GPP 的主要职责之一就是根据 GSM 演进核心网和无线接入技术来制定全球的应用技术规范和第 3 代移动通信系统的技术报告，其他职责包括修订并颁布 GSM 通信技术规范和技术报告（如 GPRS 和 EDGE）。关于 3GPP 组织的详细介绍，在参考文献［1］中给出了具体阐述。

3.1　技术规范组

在 3GPP 中，官方合作伙伴负责制定 3GPP 的常规政策和策略，而计划协调小组（Project Coordination Group，PCG）负责执行这些计划。在 PCG 下面，设立 4 个技术规范小组（Technical Specification Group，TSG）：业务与系统

（Service and System Aspect，SA）小组、核心网与终端（Core-network and Terminal，CT）小组、无线接入网（Radio Access Network，RAN）小组和GSM/EDGE接入网（GSM/EDGE Radio Access Network，GERAN）小组。在这些TSG技术小组中，每个都包含一些工作组，工作组都是由官方合作伙伴成员、市场代表合作伙伴以及观察者组成的。

3.1.1 业务与系统小组

业务与系统小组的主要职责范围是UMTS系统的整体架构和业务性能，它主要负责定义并修订整体系统架构，同时负责所需承载和业务定义，以及业务性能和业务架构、计费、安全和网络管理等规范的开发。

3.1.2 核心网与终端小组

核心网与终端小组主要负责规范终端接口、终端性能和UMTS系统核心网标准，包括UE和CN之间的第3层无线协议、核心网节点之间的信令、与外网之间的互联、操作和维护需求、常见用户规范、IP多媒体子系统描述等。

3.1.3 GSM/EDGE无线接入网小组

GSM/EDGE无线接入网小组主要负责制定GSM/EDGE无线接入部分的规范，包括射频层、L1、L2、L3、内部和外部接口、GERAN基站和终端的兼容性测试规范、GERAN节点的GERAN指定操作和维护规范等。

3.1.4 无线接入网小组

无线接入网（TSG RAN）小组主要负责定义UTRA网络在FDD和TDD模式下的功能、需求和接口标准，包括无线性能、物理层、UTRAN中的L2和L3无线资源规范、接入网接口（Iu、Iub和Iur）规范、UTRAN中的操作和维护需求定义以及基站的兼容性测试。

3.2 3GPP规范版本

国际电信联盟（ITU）在1998年就开始为第3代移动通信系统定义标准，此时3GPP还没有成立，而欧洲电信标准协会（ETSI）主要负责UMTS标准的制定。1998年后，3GPP接管了技术规范方面的工作。

3.3　3GPP 规范编号

所有 3G 和 GSM 规范都有一个 3GPP 规范编号，这个编号由 4～5 位数字组成（如 04.03 或 25.101）。其中，前两位数字用来说明规范系列，如表 3-1 所示。在 01～13 系列中，前 2 位数字之后还有另外 2 位数字；在 21～55 系列中，前 2 位数字之后还有另外 3 位数字。3G 和 GSM 分别用来表示采用 UTRAN 无线接入网的 3GPP 系统和采用 GERAN 无线接入网的 3GPP 系统；GSM 中还包括了 GPRS 和 EDGE 技术特征。

关于每个规范的全称、规范编号和最新版本编号，读者可以访问网站 ftp：// ftp.3gpp.org/specs 来进行详细了解。

在 21～35 系列中，如果第 3 位数字为 0，那么该规范就同时适用于 3G 和 GSM 系统；如果第 3 位数字不为 0，那么该规范就只适用于 3G 系统。例如，规范 29.001 可以同时适用于 3G 和 GSM 系统，而规范 25.331 只适用于 3G 系统。

3.4　3GPP 规范系列

表 3-1 中全面归纳了 3GPP 的规范系列。从射频工程的角度来看，3GPP 无线方面的规范系列是接下来内容中最重要的部分。

表 3-1　3GPP 规范系列（引用已经过 ETSI 允许）

规范系列	3G/GSM R99 及后续版本	GSM（Release 4 及后续版本）	GSM（Release 4 之前的版本）
常用信息			00 系列
需求	21 系列	41 系列	01 系列
业务方面（第 1 阶段）	22 系列	42 系列	02 系列
技术实现（第 2 阶段）	23 系列	43 系列	03 系列
信令协议（第 3 阶段）——用户设备到网络	24 系列	44 系列	04 系列
无线方面	25 系列	45 系列	05 系列
CODEC	26 系列	46 系列	06 系列
数据	27 系列		07 系列
信令协议（第 3 阶段）——（RSS-CN）	28 系列	48 系列	08 系列
信令协议（第 3 阶段）——固定网络内	29 系列	49 系列	09 系列
程序管理	30 系列	50 系列	10 系列

（续）

规范系列	3G/GSM R99及后续版本	GSM（Release 4及后续版本）	GSM（Release 4之前的版本）
用户识别模块（SIM、USIM）	31系列	51系列	11系列
操作与维护	32系列	52系列	12系列
接入需求与测试规范		13系列①	11系列①
安全方面	33系列	②	②
SIM与测试规范	34系列	②	11系列
安全算法③	35系列	55系列	④

① 13系列GSM规范与欧盟规范标准相关。在ETSI TC SMG职责最后，该系列规范会演变成ETSI TC MSG（Mobile Specification Group，移动规范小组）。

② 该系列的规范可以贯穿到其他系列中去。

③ 算法只能在输出许可情况下使用。

④ 原始GSM算法没有发布，且由GSM协会控制。

3.5 小结

3GPP组织主要负责制定并修订UMTS标准，它主要根据GSM演进核心网和无线接入技术来制定第3代移动通信系统的全球应用技术规范和技术报告。3GPP同时还负责修订GSM通信技术规范和技术报告，例如GPRS和EDGE。

目前，3GPP已经发布了大量的技术规范和报告。从射频工程的角度来看，3GPP无线方面的规范系列（25个系列）才是射频工程师们最关注的部分。

参考文献

[1] http：//www. 3gpp. org.

第 4 章　无线资源控制

无线资源控制（Radio Resource Control，RRC）是接入层中最重要的技术，它负责控制整个接入层。如图 4-1 所示，在接入层中，RRC 可以通过 RRC 层与其下面其他各层之间的接口来对其他各层进行配置。另外，RRC 还为非接入层提供了一个控制和信令接口。具体来说，RRC 功能包括接入层控制、系统信息处理、寻呼和公告、无线承载控制、UE 移动性的 RRC 管理、功率控制、测量控制与报告以及 NAS 层消息路由。

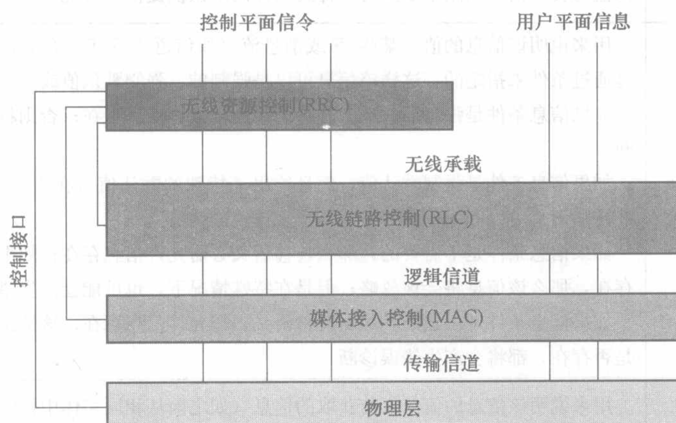


图 4-1　RRC 控制接口

4.1　RRC 消息规范

RRC 消息是 UTRAN 和 UE 之间交换信息的一部分，在信息交换过程中，RRC 已经开始运行。最典型的 RRC 消息包括 RRC 连接请求消息、RRC 连接建立消息、RRC 连接建立完成消息、RRC 连接释放消息、RRC 安全模式命令消息、无线承载建立消息、无线承载重配置消息、无线承载释放消息等。

RRC 消息是通过 ASN.1（Abstract Syntax Notation One，抽象语言记法 1）格式来定义和译码的。除了系统信息消息之外，每个 RRC 消息中都包含了一个消息类型域，该类型域可以确保消息进行正确译码；而对于系统信息消息来说，消息类型嵌入在消息的每个分段中，因为系统信息消息被分段后分布在多个帧

中。RRC消息中的内容是一系列的信息单元（Information Element，IE），这些信息单元通常通过强制存在（Mandatory Present，MP）、强制默认值（Mandatory with Default value，MD）、条件值（Conditional on Value，CV）或条件旧值（Conditional on History，CH）来标识的，这些专业术语是在经过允许后从参考文献［1］中引用过来的，并在表4-1中给出了详细解释。

表4-1 RRC消息和信息单元中缩略语解释（引用已经过ETSI允许）

缩 略 语	解 释
强制存在（MP）	用来说明该消息的值是必需的，而且没有特殊的默认值；如果转移语法允许空缺（如由于扩充产生的），那么空缺将会导致出现错误诊断
强制默认值（MD）	用来说明该消息的值是必需的，而且给出了特殊的默认值（在语义信息项中）；该值为转移语义利用空缺或特殊样式来译码默认值提供了可能
条件值（CV）	用来说明该信息的值与某些IE或消息流（如信道或SAP）有关；是否需要该值是通过条件来指定的，这样该信息可以是强制的、强制默认值或不需要的或可选的 如果信息条件是强制的，那么转移语义必需允许信息存在；否则将会产生错误诊断 如果信息条件是强制默认值，而且给出了特殊的默认值（在语义信息项中），那么转移语义可以利用空缺或特殊样式来译码默认值 如果信息条件是不需要的，那么转移语义必需允许信息存在；如果该情况下信息存在，那么该信息将会被忽略；但是在特殊情况下，也可能会产生错误诊断 如果信息条件是可选的，那么转移语义必需允许信息存在；该情况下，无论信息是否存在，都将会产生错误诊断
条件旧值（CH）	用来说明该信息的值与之前获取的信息（如之前从相同实体中接收到的消息）有关；是否需要该值是通过条件来指定的，这样该信息可以是强制的、强制默认值或不需要的或可选的 条件的处理方式与CV中描述的相同
可选（OP）	用来说明信息存在与否对于接收端非常重要，而且会改变接收端的行为；但是信息存在与否不会导致错误诊断

扩充协议

如参考文献［1］中所述，RRC消息在未来的协议版本中可以通过添加选项、列举类型、尺寸压缩类型和信息单元来进行扩充。参考文献［1］中定义了两种扩充类型：非临界扩充和临界扩充。

在非临界扩充类型中，选项、列举类型、尺寸压缩类型和信息单元可以在分配备用值的地方进行添加。在当前协议版本中，也可以指明需要为未来的协议版本保留多少非临界备用值。附加的信息单元可以通过附着在RRC消息末尾的方式来添加到RRC消息中。如果接收端无法解读非临界扩充项，那么接收端必须

接受整个扩充项，并负责处理整个消息（如同不包含扩充项一样）。

在临界扩充类型中，常用的方法是定义一个新的消息版本，并指明其位于消息的开头。在该类型扩充中，不存在备用值，因为不需要后向兼容。临界扩充消息可能会被完全修改，例如，信息单元可以被插入、转移或重新定义。如果接收端无法解读非临界扩充项，那么接收端必须拒绝整个消息，不存在部分拒绝的情况。

4.2　系统消息

UTRAN RRC 通常会向 UE 广播系统信息消息，这些消息中包含了各种信息单元，信息单元中承载了关于接入层和非接入层的信息。系统信息单元是以系统信息块的形式进行广播的，每个系统信息块（System Information Block，SIB）中包含 1 个或多个系统信息单元。系统信息块具有很多类型，不同类型的系统信息块具有不同的特性。例如，不同类型的系统信息块具有不同的重复速率。

系统信息是以树的形式进行组织的，主信息块（Master Information Block，MIB）负责提供参考，并负责将系统信息块调度到蜂窝单元中。MIB 中也可能包含一个或两个调度块（Scheduling Block，SB）的参考和调度信息。SB 为附加的 SIB 提供参考并负责调度信息。SIB 的调度信息只能包含在 MIB 中，或者包含在某一个调度块中。

MIB、SB 和 SIB 都是以系统信息消息的形式在 BCH 信道上进行广播的。当 UE 一开始捕获到一个蜂窝单元时，UE 就可以从 BCH 信道上获取该蜂窝单元的所有系统信息消息。UE 可以为指定的蜂窝单元存储这些系统信息消息，因此，如果 UE 移动到该蜂窝单元覆盖范围之外而后又很快移动回来，那么 UE 就可以继续使用之前存储的系统信息消息，而不用重新从 BCH 信道上来获取。

4.2.1　系统信息块

系统信息块（SIB）具有很多类型，具体包括类型 1～18。除了类型 15.2、类型 15.3 和类型 16 之外，SIB 的其他所有使用值标签的类型，其每一项具体值都是相同的；而类型 15.2、类型 15.3 和类型 16 可能会由于不同的内容而出现多次。在这种情况下，系统信息块中的每一项具体值都会伴随一个调度信息，而那些不使用值标签的 SIB 其每一项具体值将会各不相同。

表 4-2 列出了所有 SIB 及其特性信息，这些内容都是经过允许后从参考文献[1] 中引用过来的。

表 4-2　系统信息块（SIB）及其特性（引用已经过 ETSI 允许）

系统信息块	区域范围	信息块有效时的 UE 模式/状态	读取信息块时的 UE 模式/状态	调度信息	系统信息修订
主信息块	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	SIB_POS=0 SIB_REP=8 (FDD)SIB_REP=8,16,32 (TDD)SIB_OFF=2	值标签
调度块 1	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	由 MIB 中的调度信息 IE 指定	值标签
调度块 2	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	由 MIB 中的调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 1	PLMN	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH/ Cell_DCH	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	由调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 2	蜂窝单元	URA_PCH	URA_PCH	由调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 3	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH/	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	由调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 4	蜂窝单元	Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH/	Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH	由调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 5	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH/ Cell_DCH(仅限于 TDD)	空闲模式、Cell_FACH/ Cell_PCH/ URA_PCH/ Cell_DCH(仅限于 TDD)	由调度信息 IE 指定	值标签

（续）

系统信息块	区域范围	信息块有效时的UE模式/状态	读取信息块时的UE模式/状态	调度信息	系统信息修订
系统信息块类型6	蜂窝单元	Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH(仅限于TDD)	Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH(仅限于TDD)	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型7	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH(仅限于TDD)	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH(仅限于TDD)	由调度信息IE指定	有效定时器数值=MAX(32,SIB_REP×有效时间因子)
系统信息块类型8	蜂窝单元	Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型9	蜂窝单元	Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	有效定时器数值=SIB_REP
系统信息块类型10	蜂窝单元	Cell_DCH	Cell_DCH	由调度信息IE指定	有效定时器数值=SIB_REP
系统信息块类型11	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型12	蜂窝单元	Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型13	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签

（续）

系统信息块	区域范围	信息块有效时的UE模式/状态	读取信息块时的UE模式/状态	调度信息	系统信息修订
系统信息块类型13.1	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型13.2	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型13.3	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型13.4	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型14	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	由调度信息IE指定	有效定时器数值=MAX(32,SIB_REP×有效时间因子)
系统信息块类型15	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型15.1	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签
系统信息块类型15.2	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息IE指定	值标签

（续）

系统信息块	区域范围	信息块有效时的 UE 模式/状态	读取信息块时的 UE 模式/状态	调度信息	系统信息修订
系统信息块类型 15.3	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 15.4	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 15.5	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH	由调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 16	同类 PLMN	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	由调度信息 IE 指定	值标签
系统信息块类型 17	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	由调度信息 IE 指定	有效定时器数值＝SIB_REP
系统信息块类型 18	蜂窝单元	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	空闲模式、Cell_FACH/Cell_PCH/URA_PCH/Cell_DCH	由调度信息 IE 指定	值标签

表 4-2 中区域范围项定义了系统信息块值标签的有效区域。如果区域范围为蜂窝单元，那么系统信息块只在对其读取的蜂窝单元内才有效；如果系统信息块存储在 UE 中，那么 UE 会检查系统信息块的值标签与之前存储的是否相同。如果相同，UE 就不必再重新读取系统信息块；否则，UE 就必须重新读取系统信息块。

如果区域范围为 PLMN 或同类 PLMN，那么系统信息块就只在 PLMN 或同

类 PLMN 区域内有效。当 UE 选择一个新的蜂窝单元时，UE 会检查系统信息块的值标签，如果新蜂窝单元的系统信息块值标签与之前 UE 中存储的值标签不同，那么 UE 将重新读取系统信息块。

系统信息块类型 15.2、类型 15.3 和类型 16 具有多项具体值，每一项具体值都有自己的值标签。如果某一项的具体值与之前 UE 中存储的不同，那么 UE 将会重新读取该项的系统信息块。

表 4-2 中的“信息块有效时的 UE 模式/状态”一项指明了 UE 的状态或 UE 的模式，在该状态或模式下，系统信息块的 IE 是有效的。换句话说，当 UE 转换到该项中不包括的状态或模式中之后，接收到的系统信息块就是无效的。但是，当 UE 在 GSM/GPRS 之间转换时，系统信息块类型 16 仍然有效。

表 4-2 中的“读取信息块时的 UE 模式/状态”一项指明了 UE 的状态或 UE 的模式，在该状态或模式下，系统信息块的 IE 会被 UE 读取的。UE 在执行任何流程之前，必须掌握该流程的相关必要信息，这就要求必须从相应的系统信息块中获取合适的信息。UE 读取系统信息块的时间跟流程规范和性能要求相关。其中，流程规范为不同的 UE 模式/状态定义了各自需要的 IE。

4.2.2 系统信息块分段与组合

如前所述，系统信系块在 BCH 信道上是以系统信息消息集的形式进行广播的，系统信息消息的长度必须与 BCH 传输块的长度相符。UTRAN RRC 负责对系统信息消息块进行分段或组合，使其长度与 BCH 传输块的长度相符。如果编码系统信息块比系统信息消息长，那么编码系统信息块就会进行分段，之后分成多个消息进行传送；如果编码系统信息块比系统信息消息短，那么 UTRAN 就会将多个编码系统信息块或其分段进行组合。系统信息块定义了 4 种不同的分段类型：首分段、次分段、尾分段和完整分段。其中，首分段、次分段和尾分段通常用来传送 MIB、SB 或 SIB 的分段，而完整分段通常用来传送完整的 MIB、SB 或 SIB。每个分段中都包含一个段头和一个数据域。其中，数据域负责承载编码系统信息单元，而段头中包含了 SIB 类型和分段类型指定参数。SIB 类型用来指明分段是否属于 MIB、SB 或 SIB，分段类型指定参数是指 SEG _ COUNT 和分段索引。只有当分段类型是首分段时，段头中才会包含 SEG _ COUNT（该参数是指系统信息块中分段的数量）。类似地，只有当分段类型是次分段或尾分段时，段头中才会包含分段索引。

UTRAN 每隔 20 ms 在 BCH 信道上广播一次系统信息消息，该消息中包含了系统帧编号（SFN）。SFN 通常是偶数，因为该消息是在 20 ms 的边界处发送的，而此时 SFN 每 10 ms 就会增加 1。UTRAN 可能会将多个不同长度的分段进行组合，并放在一个消息中进行发送。每个系统信息消息中都包含了以下 11

种类型中的一种：

1）无分段；

2）首分段；

3）次分段；

4）尾分段；

5）尾分段＋首分段；

6）尾分段＋1 个或多个完整分段；

7）尾分段＋1 个或多个完整分段＋首分段；

8）1 个或多个完整分段；

9）1 个或多个完整分段＋首分段；

10）1 个长度为 215～226 的完整分段；

11）长度为 215～222 的尾分段。

如果指定的 BCH 信道传输块中不存在 MIB、SB 或 SIB 调度，那么就可以使用无分段类型。

4.2.3 系统信息消息示例

在上面的 11 种系统信息消息构成类型中，第 7 种构成类型比其他所有类型都复杂，因此，我们将第 7 种类型作为例子来详细阐述系统信息消息的结构。图 4-2 给出了第 7 种类型的结构（尾分段＋1 个或多个完整分段＋首分段）。

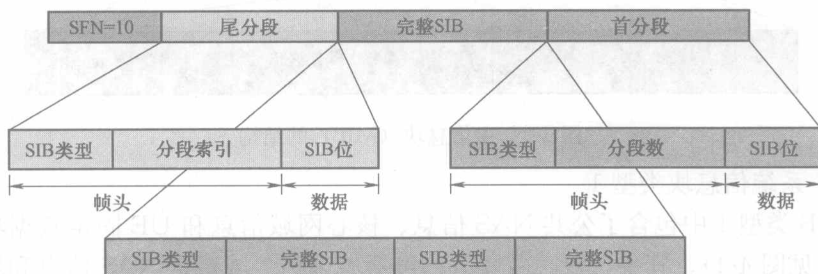


图 4-2 系统信息消息——第 7 种类型

如图 4-2 所示，首分段由一个段头和一个数据域组成。其中，段头中包含了一个 SIB 类型和一个分段数，而数据域负责承载 SIB 的信息位。尾分段也是由一个段头和一个数据域组成，与首分段的惟一的区别就是，尾分段的段头承载的是分段索引，而不是分段数。在系统信息构成中，最多允许包含 16 个分段，每个分段的长度不能超过 214 位。根据分段数和分段索引，UE 可以重新组合成完整的 SIB，并检查丢失的分段。消息中完整的 SIB 部分最多包含 16 个完整的 SIB，每个 SIB 的长度不能超过 214 位。

4.2.4　系统信息块的内容

在4.2.1节中，表4-2归纳出了所有的系统信息块。每个信息块都具有惟一的功能和结构，接下来的内容将对每个信息块进行详细阐述。

1. 主信息块

UTRAN每隔80 ms发送一次MIB，MIB由以下IE组成（见图4-3）：MIB值标签、PLMN支持类型、SIB与SB参考、PLMN标识。MIB值标签是一个整数，范围为1～8，只要MIB中的内容发生变化，值标签就会增加1；PLMN支持类型IE用来指明所支持的PLMN类型，例如GSM-MAP PLMN；PLMN标识中包含了GSM-MAP PLMN的移动国家代码（Mobile Country Code，MCC）和移动网络代码（Mobile Network Code，MNC）。其他SIB与SB的参考IE中包含了SIB的类型和每个SIB与SB的调度信息。调度信息包括SIB值标签、分段数、SIB发送重复率、蜂窝单元SFN的一个循环中首分段的位置以及此分段的偏差等。

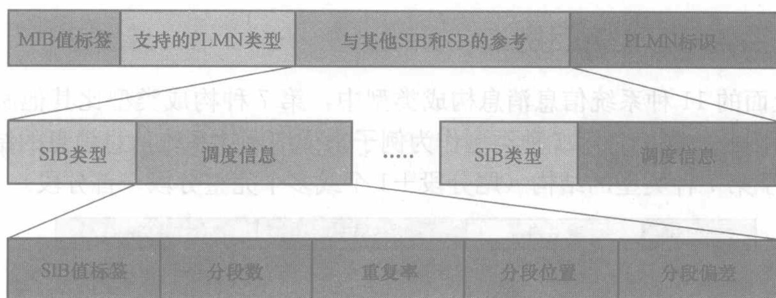


图4-3　主信息块（MIB）的结构

2. 系统信息块类型1

SIB类型1中包含了公共NAS信息、核心网域信息和UE固定数据项与定时器（见图4-4）。其中，核心网域信息包括域识别、域指定NAS信息和域指定

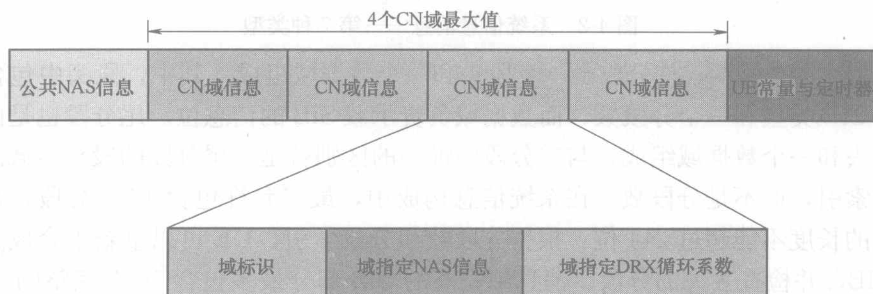


图4-4　系统信息块类型1的结构

DRX 循环系数；公共 NAS 信息和域指定 NAS 信息是在 CS 和 PS 核心网规范中定义的，包括位置域代码（Location Area Code，LAC）、路由域代码（Routing Area Code，RAC）和位置更新定时器。当 UE 处于空闲模式、URA _ PCH 状态或 Cell _ PCH 状态时，UE 通过域指定 DRX 循环系数来确定 UE 监控寻呼信道的时间周期。UE 定时器和固定数据项可以用于很多地方，例如 T302 可以确定 UE 试图更新蜂窝或 URA 信息的时间，而 N302 可以指明重发 CELL UPDATE 或 URA UPDATE 消息的最大次数。

3. 系统信息块类型 2

SIB 类型 2 最多由 8 个当前蜂窝中有效的 URA 标识组成。如果有多个有效的蜂窝单元 URA 标识，那么当 UE 进入 URA _ PCH 状态时，UTRAN 就会指导 UE 使用哪个 URA 标识。

4. 系统信息块类型 3

SIB 类型 3 中包含了关于蜂窝重选的各种信息，通常在 UE 处于空闲模式时使用。图 4-5 给出了 SIB 类型 3 的结构。SIB 类型 3 中的 IE 包括 SIB 类型 4 指示、蜂窝重选参数、蜂窝接入约束参数和蜂窝标识。SIB 类型 4 指示用来说明 SIB 类型 4 是否在当前蜂窝中发送，如果发送，那么 UE 在连接模式下将使用 SIB 类型 4；否则，在连接模式下，UE 将继续使用 SIB 类型 3。

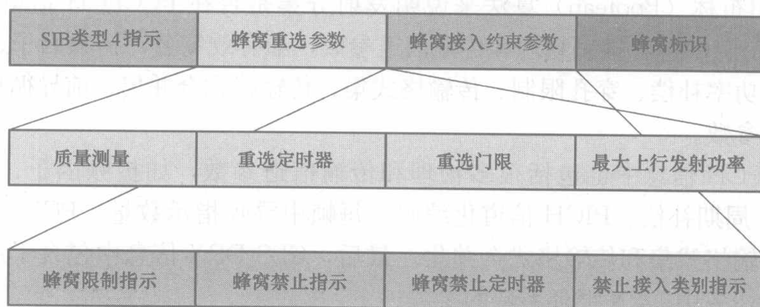


图 4-5　系统信息块类型 3 的结构

蜂窝重选参数 IE 提供了以下信息：质量测量、重选门限、重选定时器和最大上行发射功率。质量测量用来确定蜂窝单元是否合适，重选定时器和重选门限（包括滞后现象）用于蜂窝重选时的计算过程，最大上行发射功率决定了 UE 在当前蜂窝单元中允许发射的最大功率。

蜂窝接入约束 IE 由蜂窝单元约束指示、蜂窝单元禁止指示、蜂窝单元禁止定时器和接入类型禁止指示组成，这些参数决定了蜂窝单元是受约束的还是被禁止的，以及蜂窝单元禁止的时间长短；同时，这些参数还决定了蜂窝单元是否禁止某一特定接入类型的 UE 进行接入操作。

5. 系统信息块类型 4

SIB类型4结构与SIB类型3基本相同，不同之处在于，SIB类型4中没有SIB类型4指示IE。SIB类型4与SIB类型3的功能基本相同，但只有当处于连接模式时，UE才会使用SIB类型4中的参数。

6. 系统信息块类型5

SIB类型5中包含了关于公共物理信道PCCPCH、SCCPCH和PRACH的各种信息，通常在UE处于空闲模式时使用。图4-6给出了SIB类型5的结构示意图。SIB类型5中的IE包括：SIB类型6指示、功率偏置、PCCPCH发射分集、PRACH信息、SCCPCH信息和蜂窝单元广播业务分散接收（Cell Broadcast Service Discrete Receiving，CBS DRX）信息。



图4-6　系统信息块类型5的结构

SIB类型6指示用来说明SIB类型6是否在当前蜂窝单元中发送，如果发送，那么UE在连接模式下将使用SIB类型6；否则，在在连接模式下，UE将继续使用SIB类型5。

功率补偿IE定义了PICH和AICH信道的功率补偿信息。PCCPCH发射分集IE采用布林（Boolean）算法来说明发射分集是否在PCCPCH信道上使用。PRACH信息中包含很多物理和传输信道参数，如有效签名、扩频因子、前导扰码编号、功率补偿、穿孔限制、传输格式集、传输格式合并集、前导循环数量和随机备份参数。

SCCPCH信息中也包括很多物理和传输信道参数，如扩频因子、代码数、PCCPCH周期补偿、PICH信道化编码、每帧中寻呼指示数量、PCH与FACH信道的传输格式集和传输格式合并集。最后，CBS DRX信息中包含了用于计算蜂窝广播业务中DRX循环系数的参数。

7. 系统信息块类型6

SIB类型6结构与SIB类型5基本相同，不同之处在于，SIB类型6中没有SIB类型6指示IE。SIB类型6与SIB类型5的功能基本相同，但只有处于连接模式时，UE才会使用SIB类型6中的参数。

8. 系统信息块类型7

SIB类型7中包含了与PRACH信道传输相关的各种快速变化参数。如图4-7所示，SIB类型7中包含了各种上行干扰、动态周期和有效期限因子的IE。上行接口IE用来计算PRACH信道传输过程中的初始前导功率，动态周期IE中包含了指定的数值N=1，2，3，…，8，SIB类型5和SIB类型6中列出了每个PRACH信道的动态周期IE。指定的数值与周期数值之间的映射关系为

$$P(N) = 1/2^{(N-1)} \tag{4-1}$$



图 4-7　系统信息块类型 7 的结构

MAC 层负责确定利用周期数值接入 PRACH 信道的优先权。

有效时间因子作为变化控制机制，用来确保 UE 可以始终拥有正确的 SIB 类型 7 参数值，有效定时器设定值的计算公式为

有效定时器设定值 = Max(32，SIB _ REP × 有效时间因子) ms　(4-2)

9. 系统信息块类型 8

SIB 类型 8 中包含了蜂窝单元使用的各种静态 CPCH 信息，如 CPCH 参数，该参数仅适用于 FDD 模式。在连接模式下，UE 存储了该系统信息块中所有的相关 IE；但是，在空闲模式下，UE 不会使用该系统信息块的 IE 值。

10. 系统信息块类型 9

SIB 类型 9 中也包含了蜂窝单元使用的各种静态 CPCH 信息，这些信息包括 CPCH 集周期等级列表和各个 CPCH 集周期等级。SIB 类型 9 也仅适用于 FDD 模式，在连接模式下，UE 存储了该系统信息块中所有的相关 IE。UE 负责为系统信息块启动一个定时器，该定时器的设定值由重复周期（SIB _ REP）给定。但在空闲模式下，UE 不会使用该系统信息块的 IE 值。

11. 系统信息块类型 10

SIB 类型 10 中包含了 UE 使用的各种信息，其中 UE 的 DCH 信道是由一个动态资源分配控制（Dynamic Resource Allocation Control，DRAC）流程来控制的。SIB 类型 10 仅适用于 FDD 模式。当 UE 处于 Cell _ DCH 状态时，UE 会存储该系统信息块中所有的相关 IE。UE 负责为系统信息块启动一个定时器并执行 DRAC 流程，该定时器的设定值由重复周期（SIB _ REP）给定[1]。当处于空闲模式、Cell _ FACH 状态、Cell _ PCH 状态或 URA _ PCH 状态时，UE 不会使用该系统信息块的 IE 值。

12. 系统信息块类型 11

SIB 类型 11 中也包含了蜂窝单元中使用的各种测量控制信息。如图 4-8 所示，SIB 类型 11 主要由 SIB 类型 12 指示、FACH 测量时机和测量控制组成。其中，SIB 类型 12 指示用来说明 SIB 类型 12 是否发送；FACH 测量时机信息中包含了关于循环长度系数、FDD 指示、RAT 间指示和 TDD 指示的各种 IE；测量控制信息中包含了关于 UE 内部测量、流量大小、频内测量、频间测量和 RAT 间测量方法的各种 IE。

当处于 Cell _ FACH 状态时，UE 利用 FACH 测量时机 IE 中包含的信息来

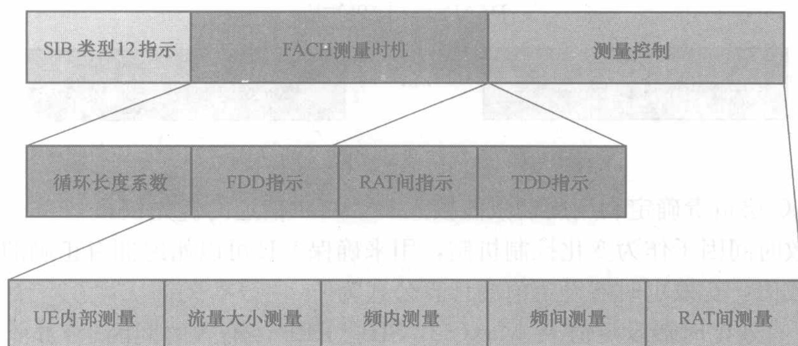


图 4-8　系统信息块类型 11 的结构

进行蜂窝单元重选测量。FDD 指示、RAT 间指示和 TDD 指示分别用来说明 UE 是否需要进行 FDD 测量、RAT 间测量和 TDD 测量。UE 还利用循环长度系数来计算这些测量执行过程中的周期间隔。

UE 内部测量 IE 用来说明 UE 是否需要测量 UE 的发射功率、UTRA 承载 RSSI 或 UE 发射/接收时间差。

当处于连接模式时，UE 利用流量大小测量 IE 中包含的信息来测量流量大小，这些测量过程可以向 UTRAN 告知分组数据呼叫中的有效上行数据，同时还可以帮助 UTRAN 确定发送上行必需的数据信道资源。

频内测量、频间测量和 RAT 间测量 IE 中也都包含了相似的信息，每个 IE 中都承载了一列添加到测量流程中的蜂窝单元和一列被删除的蜂窝单元。如果一个蜂窝单元被删除，那么 IE 也将会承载该蜂窝单元的蜂窝选择和重选参数，如补偿、最小质量和最大允许发射功率。这些参数可以帮助 UE 根据测量过程来确定相邻蜂窝是否适合重选。

13. 系统信息块类型 12

SIB 类型 12 中也包含了关于测量控制的各种信息，通常用于 UE 处于连接模式的情况。SIB 类型 12 与 SIB 类型 11 非常相似，不同之处在于 SIB 类型 12 中没有 SIB 类型 12 指示。所有其他 IE 中包含的内容与 SIB 类型 11 的 IE 相同。

14. 系统信息块类型 13

SIB 类型 13 中包含了与 ANSI-41 系统相关的各种信息。根据参考文献 [1]，无论 UE 处于空闲模式还是连接模式，UE 都必须存储所有 SIB 类型 13 中包含的相关 IE，除了以下这些 IE：CN 域指定 DRX 循环长度系数、空闲模式下的 UE 定时器和固定数据项、容量更新需求，这些 IE 只有当 UE 处于空闲模式时才会存储。而且，如果有效 SELLCTED _ PLMN 中的 PLMN 类型设置为 ANSI-41，而且 MIB 中的 PLMN 类型 IE 设置为 ANSI-41 或 GSM-MAP 和 ANSI-41，

那么 UE 必须读取 SIB 类型 13 和相关的 SIB 类型 13.1、13.2、13.3 和 13.4。另外，UE 必须将 CN 域指定 NAS 系统信息发送到非接入层实体中（该实体由 CN 域标识指定），而且 UE 利用 CN 域指定的 DRX 循环长度系数来计算寻呼时机和寻呼指示（参考文献 [2] 中指定）的帧编号。

SIB 类型 13.1、13.2、13.3 和 13.4 中分别包含了与 ANSI-41 RAND 相关的信息、ANSI-41 用户域识别信息、ANSI-41 私密相邻列表信息和 ANSI-41 广域服务重新定向信息。

15. 系统信息块类型 14

SIB 类型 14 通常用于 3.84 Mcps 的 TDD 模式中，其中包含了空闲模式和连接模式下，公共和专用物理信道上行外循环功率控制信息。UE 存储了系统信息块中所有相关的 IE。UE 必须利用上行时隙干扰来计算 TDD 上行开环功率控制中 PRACH 信道和 DPCH 信道的发射功率。

16. 系统信息块类型 15

SIB 类型 15 中包含了与基于 UE 定位法或 UE 辅助定位法相关的各种信息，同时还包含了 3GPP 规范中指定的 SIB 类型 15.1、15.2、15.3、15.4 和 15.5[1] 信息。在此，我们不对这些 SIB 进行详细阐述，只简要介绍它们的主要内容。

如果 UE 支持 GPS 定位业务，那么 UE 必须存储 SIB 类型 15 中所有相关的 IE。当 UE 中包含 GPS 数据加密信息 IE 时，UE 必须对接收到的参考位置 IE 和 GPS 参考时间 IE 进行处理；当 UE 中包含卫星信息 IE 时，UE 必须对无效的卫星列表进行处理。关于 UE 的具体处理过程，在参考文献 [1] 中给出了详细讨论。

SIB 类型 15.1 中包含了对 UE 定位微分 GPS（Differential GPS，DGPS）的纠正有用的信息。DGPS 纠正消息内容是基于 DGPS 类型 1 消息的，该消息在参考文献 [3] 中有详细介绍。UE 应该将与该 SIB 相关的所有 IE 存储在有效UE_POSITIONING_GPS_DATA（UE 定位 GPS 数据）中，同时必须对 DGPS 纠正 IE 和接收到的 UE 定位 GPS DGPS 纠正 IE 中的 DGPS 信息进行处理。

SIB 类型 15.2 中包含了对 GPS 导航模型有用的信息[4]，其中可能包含多个具体项，每个卫星对应一项。SIB 类型 15.2 中的调度信息包括 SIB 具体项标识和值标签 IE，该 IE 用来标识各个不同的具体项。UE 将与该 SIB 相关的所有 IE 存储在有效 UE_POSITIONING_GPS_DATA 中。对于每一项来说，UE 必须将之前存储的具体项值标签与 SIB 具体项标识和值标签 IE 中的值标签进行比较。关于 SIB 类型 15.2 中 UE 的具体处理过程，在参考文献 [1] 中给出了详细讨论。

与 SIB 类型 15.2 类似，SIB 类型 15.3 中包含了对电离层延迟、协同通用时间（Coordinated Universal Time，UTC）补偿和天文年历有用的信息。SIB 类型 15.3 中也可能包含多个具体项，每一项对应一组卫星数据。UE 在 SIB 类型

15.3 中的操作与在 SIB 类型 15.2 中的完全相同，感兴趣的读者可以阅读参考文献 [1]。

SIB 类型 15.4 中包含了关于 SIB 类型 15.5 的加密信息和对到达观察时间差异（Observed Time Difference Of Arrival，OTDOA）UE 辅助定位法有用的信息。SIB 类型 15.5 中包含了对 OTDOA 基于 UE 定位法有用的信息。关于 SIB 类型 15.4 和 15.5 的具体细节，在参考文献 [1] 中给出了详细讨论。

17. 系统信息块类型 16

SIB 类型 15.6 中包含了关于 UE 处于空闲模式和连接模式下无线承载、传输信道和物理信道参数的各种信息。SIB 类型 15.6 中可能包含多个具体项，每一项对应一个预定义的配置。SIB 类型 15.6 中的调度信息包括预定义配置标识和值标签 IE，该 IE 用来具体说明不同预定义配置。UE 存储了 SIB 类型 16 系统信息块中所有相关的 IE。对于每一种预定义配置，UE 必须将之前存储的预定义配置值标签与预定义配置标识和值标签 IE 中的预配置值标签进行比较，以确保当前 SIB 中的每一项与预定义配置标识的完全相同。

18. 系统信息块类型 17

SIB 类型 17 中包含了关于连接模式下共享物理信道配置的快速变化参数信息，只适用于 TDD 模式，感兴趣的读者可以阅读参考文献 [1]。

19. 系统信息块类型 18

SIB 类型 18 中包含了关于相邻蜂窝单元 PLMN 标识的列表 IE，总共包含 3 种列表，一种是关于频内相邻蜂窝单元的，一种是关于频间相邻蜂窝单元的，还有一种是关于 RAT 间相邻蜂窝单元的（GSM 中）。这些各不相同的列表可用于空闲模式和连接模式下，它们提供了 UE 执行同类 PLMN 蜂窝重选的信息。在对某个蜂窝单元进行蜂窝重选时，UE 会将相邻蜂窝单元的 PLMN ID 与列表中的同类 PLMN 进行比较，如果该蜂窝单元属于同一类蜂窝单元，那么就允许重选该蜂窝单元。同类 PLMN 的使用为服务提供商实现国际化的无缝覆盖提供了可能：为了实现这个目标，每个服务提供商都会被分配一组 PLMN ID，每个 PLMN ID 都是由 1 个移动国家代码（MCC）和 1 个移动网络代码（MNC）组成的。

4.3 寻呼与公告

在移动终端的话音呼叫建立过程中，包含了很多步骤，如寻呼与公告、RRC 连接建立、移动性管理中的 NAS 层消息路由、加密和完整性保护、呼叫控制中的 NAS 层消息路由以及无线承载管理。其中，寻呼与公告是移动终端话音呼叫建立过程中的第一步，寻呼包含两种类型：寻呼类型 1 和寻呼类型 2。

4.3.1　寻呼类型 1

寻呼类型 1 通常用于 UE 处于空闲模式、Cell _ PCH 状态或 URA _ PCH 状态的情况。当 UE 处于空闲模式时，寻呼类型 1 通常用来建立 RCC 连接，并发送呼叫；当 UE 处于 Cell _ PCH 状态或 URA _ PCH 状态时，寻呼类型 1 通常用来在分组数据会话阶段重新启动用户数据传输过程。必须注意的是，当 UE 处于 Cell _ PCH 状态或 URA _ PCH 状态时，无线承载必须被释放。

图 4-9 给出了寻呼类型 1 消息的内容结构，该消息由 1 个消息类型、1 个可选寻呼记录表、多个寻呼记录和 1 个可选 BCCH 修订组成。其中，寻呼记录表给出了寻呼记录的次数，这些寻呼记录可以是空闲模式下的寻呼记录，也可以是连接模式下的寻呼记录。空闲模式寻呼记录中包括寻呼暂停、CN 域标识和 UE 标识；连接模式寻呼记录中包括 U-RNTI、寻呼暂停、CN 域标识和寻呼记录标识。BCCH 修订 IE 中可能包括 1 个 MIB 值标签或修订时间。

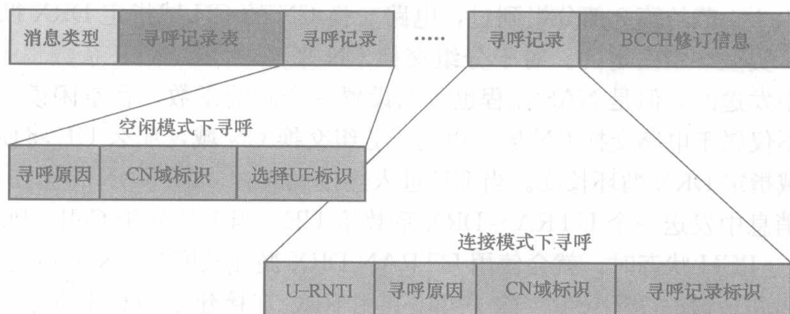


图 4-9　寻呼类型 1 消息

根据上层要求，UTRAN RRC 会通过在 PCH 信道上发送一个寻呼类型 1 消息来启动寻呼流程，PCH 信道在合适的寻呼时机映射到 SCCPCH 信道。寻呼类型 1 消息中可能包含多个寻呼记录，每个记录对应一个独立的 UE。相关的寻呼指示也是在 PICH 信道上设置的。UE 负责在指定的寻呼时机上监控 PICH 信道。如果 PICH 信道上的寻呼指示说明 UE 应该读取相关的 SCCPCH 信道，那么 UE 就必须读取相关的 SCCPCH 信道，并检查接收到的寻呼类型 1 消息，同时 UE 通过执行地址匹配过程来确定该消息中是否包含匹配地址的记录。当 UE 处于空闲模式时，通常利用 IMSI、TMSI 或 P-TMSI 来寻址；而当 UE 处于连接模式时，通常利用 U-RNTI 来寻址。当 UE 处于空闲模式时，如果寻呼类型 1 消息中包含了寻址对应的寻呼记录，那么 UE RRC 将会向 UE NAS 告知 CN 域标识（CS 或 PS）和寻呼暂停，之后 UE NAS 将启动一个 RRC 连接请求；当 UE 处于连接模式时，如果寻呼记录中包含了可选 IE、原始 CN 向连接模式下

UE 的寻呼，那么 UE RRC 将会发送一个寻呼暂停、CN 域标识给上层；否则，UE RRC 将会执行一个蜂窝单元更新流程，并暂停寻呼响应。

1. 寻呼中断接收（DRX）循环

当 UE 处于空闲模式、Cell_PCH 状态或 URA_PCH 状态时，UE 可能会利用中断接收（Discontinuous Reception，DRX）来延长电池的使用周期。在空闲模式下，DRX 循环是为每个核心网定义的；而在连接模式下，DRX 循环是为 UTRAN 定义的。寻呼时机和寻呼指示是为每个 UE 定义的，用来决定在哪个时机必须监控 DRX 循环中的寻呼指示。DRX 循环是指 UE 寻呼时间之间的时间间隔，其长度为 2^k 个帧，其中 k 为 DRX 循环长度系数。对于 CN 域指定的 DRX 循环长度系数来说，k 的值必须是整数，范围为 6～9，对应的 DRX 循环长度范围为 64～512 个帧或者 640 ms～5.12 s；对于 UTRAN DRX 循环长度系数来说，k 的值也必须是整数，范围为 3～9，对应的 DRX 循环长度范围为 8～512 个帧或者 80 ms～5.12 s。

在 4.2.4 节的第 2 部分提到过，电路交换 CN 的 CN 域指定 DRX 循环系数是在 SIB 类型 1 中发送的。对于分组交换 CN 来说，DRX 循环系数也是在 SIB 类型 1 中发送的，但是 NAS 流程也可以设置一个新的系数。在空闲模式下，如果 UE 不仅属于电路交换 CN 域，也属于分组交换 CN 域，那么 UE 将使用最短的 CN 域指定 DRX 循环长度。当 UE 进入连接模式时，UTRAN 将会在 RRC 连接建立消息中发送一个 UTRAN DRX 系数给 UE。当 UE 处于 Cell_PCH 状态或 URA_PCH 状态时，就会使用 UTRAN DRX 循环长度与 CN 域指定 DRX 循环长度之间最短的循环长度。除了可以利用 RRC 连接建立消息来发送 UTRAN DRX 系数给 UE 外，UTRAN 还可以通过其他消息（如蜂窝更新确认消息、URA 更新确认消息、无线承载建立消息、无线承载重配置消息、无线承载释放消息、物理信道重配置消息和传输信道重配置消息）来发送一个新的 UTRAN DRX 系数给 UE。

2. 寻呼时机

根据定义，寻呼时机是指 UE 在 PICH 信道上监控它的寻呼指示的时机，寻呼时机是通过系统帧编号（SFN）来描述的。寻呼指示可以告知 UE 是否需要读取相关 SCCPCH 信道来检查新的寻呼类型 1 消息。

寻呼时机是通过 UE 的 IMSI、帧中的 DRX 循环长度和 SCCPCH 信道（承载 PCH 信道）的数量来计算的，具体的计算公式如下：

$$寻呼时机 = (IMSI \div K) \bmod DRX循环长度 + (n \times DRX循环长度) \quad (4\text{-}3)$$

式中，K 是指有效 SCCPCH 信道（承载 PCH 信道）的数量；n =0，1，2，…，直到寻呼时机超过 4095。

例如，假设 K=1，IMSI=088613311065066，DRX 循环长度=64 帧，那么

寻呼时机＝42，106，…，4074。

3. 寻呼指示

寻呼指示由 PICH 信道承载，用来告知 UE 在合适的 SCCPCH 帧中读取寻呼消息。RRC 负责为寻呼指示计算寻呼指示值（PI 值），该 PI 值和寻呼时机以及每帧中寻呼指示的数量通常被物理层用来计算 PICH 信道上寻呼指示位的位置。PI 值的计算公式为

$$PI = (IMSI \div 8192) \bmod N_p \tag{4-4}$$

式中，N_p 为每帧中寻呼指示的数量。在 FDD 模式下，N_p 可以为 18、36、72、144（由 SIB 类型 5 给定）。如果 PICH 帧上的寻呼指示位（对应 PI 值）都被设置成一1，那么 UE 应该读取相关的 SCCPCH 信道来检查新的寻呼类型 1 消息。如果 SIB 类型 5 中定义了多个 PCH 及其相关 PICH，那么 UE 必须从 SIB 类型 5 中选择一个 SCCPCH 信道，选择方法如下所示：

$$\text{所选 SCCPCH 信道的索引} = IMSI \bmod K \tag{4-5}$$

4.3.2 寻呼类型 2

寻呼类型 2 通常在 UE 处于 Cell_DCH 状态或 Cell_FACH 状态时使用。UTRAN RRC 通过在 DCH 或 FACH 信道上发送寻呼类型 2 消息来初始化寻呼流程。如图 4-10 所示，寻呼类型 2 中包含了消息类型、RRC 过程标识符、寻呼原因、CN 域标识和寻呼记录类型标识符，该消息首先在 DCCH 信道上发送，之后再映射到 DCH 或 FACH 信道。

消息类型	RRC过程标识符	寻呼原因	CN域标识	寻呼记录类型标识符

图 4-10 寻呼类型 2 消息

UTRAN 通过向 UE 发送寻呼类型 2 信号来发送一个二次呼叫，而 UE 此时已经启动另一个呼叫过程。根据接收到的消息，UE RRC 会向 UE NAS 层告知 CN 域标识和寻呼暂停，然后 UE NAS 层再进行相应的处理。

4.4 RRC 连接管理

RRC 的功能之一就是建立、保持和释放 UE 与 UTRAN 之间的 RRC 连接。RRC 连接通常是由 UE 发起请求，并由 UTRAN 建立和释放。UE 发起 RRC 连接建立请求的原因很多，包括为了相应寻呼、呼叫发起、位置区域更新和路由区域更新等。当 RRC 连接建立后，UE 会从空闲模式转换到 Cell_DCH 状态或 Cell_FACH 状态。在 RRC 连接建立过程中，通常会在 UTRAN 和 UE 之间建

立4个SRB，用来发送信令。其中，两个SRB用来承载RRC消息，另外两个SRB用来承载上层（NAS）消息。根据RRC连接请求的原因不同，可能需要也可能不需要用户数据RAB。如果连接请求的目的是为了实现话音呼叫或数据呼叫，那么就需要RAB；如果连接请求的目的是为了更新位置区域或路由区域，那么就不需要RAB。

RRC连接过程中包含了3个步骤：首先，UE会发送一个RRC连接请求消息给UTRAN；然后，UTRAN会响应一个RRC连接建立消息；最后，UE会发送一个RRC连接建立完成消息给UTRAN，同时整个RRC连接过程结束。

4.4.1 RRC连接请求

当UE需要请求建立RRC连接时，它会发送一个RRC连接请求消息给UTRAN，该消息是通过逻辑信道CCCH来发送的，CCCH之后映射到传输信道RACH上。如图4-11所示，RRC连接请求消息中的信息单元（IE）包含了RRC连接建立原因、初始UE标识、协议错误指示和RACH信道测量结果。



图4-11 RRC连接请求消息

在RRC连接建立过程中，信息单元会给出RRC连接请求的原因，如响应寻呼过程或发起呼叫。

在初始UE标识IE中，UE可能会按照递减的顺序依次使用TMSI、P-TMSI、IMSI或IMEI来进行标识，即如果UE没有有效的TMSI，那么就会依次使用有效的P-TMSI，依此类推。

协议错误标识IE可以设置成TRUE（是）或FALSE（否）。当UE需要确认RRC连接已经建立时，就会反复发送RRC连接请求消息，直到UE接收到带有有效配置的RRC连接建立消息或者重发次数超过指定的最大次数N300为止。如果重发次数已经达到指定的最大次数而UE仍然无法确定RRC连接是否已经建立，那么UE就会在下一次发送之前等待一个响应（由定时器T300指定的时间段）。如果UE接收到的RRC连接建立消息中包含的是一个无效的配置，那么UE就会重发RRC连接请求消息，并将协议错误指示IE设置为TRUE。

RACH测量结果IE中包含了当前蜂窝单元和被监控蜂窝单元的测量结果，UTRAN通常会在切换决策计算过程中使用这些测量结果。

4.4.2 RRC连接建立

当UTRAN从UE处接收到一个RRC连接请求消息时，UTRAN要么接受

请求并响应一个 RRC 连接建立消息，要么拒绝请求并响应一个 RRC 连接拒绝消息。

RRC 连接建立消息为 UE 提供了进入 Cell _ DCH 状态或 Cell _ FACH 状态时所必需的信息。UTRAN 通常在逻辑信道 CCCH 上发送 RRC 连接建立消息，CCCH 之后映射到传输信道 FACH 上。如图 4-12 所示，连接建立消息中包含了很多 IE，包括初始 UE 标识、标准模式、预配置模式、预定义配置标识、默认配置标识、重新建立定时器、UE 要求的容量、RB 建立、上行传输信道信息、下行传输信道信息、频率信息、上行链路和下行链路无线资源等。

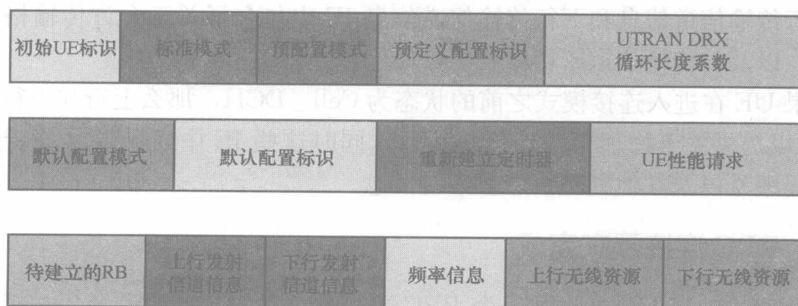


图 4-12　RRC 连接建立消息

初始 UE 标识 IE 指明了 UE 是读取剩下的 RRC 连接建立消息，还是忽略它。UE 会对初始 UE 标识 IE 和自身的标识（即有效 INITIAL _ UE _ IDENTITY 的值）进行比较，如果这两个值不同，那么 UE 就会忽略剩下的 RRC 连接建立消息；否则 UE 就会读取剩下的消息，并做出相应的处理。

规范模式和预配置模式 IE 会指示 UE 根据预定义参数或接收到的信息对无线承载和传输信道配置进行初始化，初始化过程会产生以下 3 种情形：

1. 情形 1

如果规范模式 IE 设置成预配置，而且预配置模式 IE 设置成预定义配置，那么 UE 必须根据预定义参数对无线承载和传输信道配置进行初始化（预定义参数由预定义配置标识 IE 标识），并根据上行链路和下行链路无线资源 IE 中接收到的信息来对物理信道进行初始化。

2. 情形 2

如果规范模式 IE 设置成预配置，而且预配置模式 IE 设置成默认配置，那么 UE 必须根据预定义参数对无线承载和传输信道配置进行初始化（预定义参数由默认配置模式和默认配置标识 IE 标识），并根据上行链路和下行链路无线资源 IE 中接收到的信息来对物理信道进行初始化。

3. 情形 3

如果规范模式 IE 设置成完成规范，那么 UE 必须根据 RB 建立上行传输信

道信息、下行传输信道信息、上行链路和下行链路无线资源 IE 中接收到的信息，来对无线承载、传输信道和物理信道进行初始化。

通常，UE 可以配置 4 种信令无线承载（Signaling Radio Bearer，SRB），其中两种分配给 RRC，另外两种分配给 NAS。在分配给 RRC 的两种 SRB 中，其中一种配置成未确认模式（UM），另一种配置成确认模式（AM）；在分配给 NAS 的两种 SRB 中，其中一种用来发送高优先权信令，另一种用来发送低优先权信令。嵌入在 RB 建立 IE 中的 RB 映射信息 IE 指明了如何将逻辑信道映射到传输信道。

上行传输信道信息和下行传输信道信息 IE 中包含了关于允许传输格式合并的信息，以及与传输信道密切相关的其他信息。

如果 UE 在进入连接模式之前的状态为 Cell_DCH，那么上行和下行无线资源 IE 可以提供关于物理专用信道的信息，同时这些 IE 中还包含了关于扩频因子、扰码编号以及其他物理信道参数的信息。

4.4.3　RRC 连接建立完成

如前所述，当 UE 接收到一个 RRC 连接建立消息时，UE 将会对接收到的 RRC 连接建立消息中的初始 UE 标识 IE 值与自身的 UE 标识值进行比较，如果这两个值不同，那么 UE 就会忽略剩下的 RRC 连接建立消息；否则 UE 就会读取剩下的消息，并做出如下的处理：

1）根据 RRC 连接建立消息提供的信息对无线承载、传输信道和物理信道配置进行初始化；

2）停止定时器 T300；

3）在成功进入连接模式后，向 UTRAN 发送一个 RRC 连接建立完成消息。

UE 通常在上行 DCCH 信道上发送 RRC 连接建立完成消息给 UTRAN，之后 DCCH 信道映射到 DCH 或 RACH 信道上。如图 4-13 所示，RRC 连接建立完成消息中包含了各种信息单元，如消息类型、RRC 过程标识符、启动列表、CN 域标识、UE 无线接入容量、UE 无线接入容量扩展、UE 系统要求容量和 RAT 间无线接入容量。



图 4-13　RRC 连接建立完成消息

在每个 CN 域中，启动列表中给出了 START（启动）参数，该参数通常用于加密和完整性保护安全流程中。如果存在 USIM 或 SIM，那么 UE 必须将启动列表 IE 中每一个 CN 域的 START 参数设置成相应的 START 值。该 START 值存储在 USIM 或 UE 中，然后将存储在 USIM 或 UE

中的所有 CN 域 START 参数值设置成有效 START _ THRESHOLD 的 THRESHOLD（门限）值。如果 USIM 和 SIM 都不存在，那么 UE 将启动列表 IE 中每个 CN 域的 START 设置成零，并将有效 START _ THRESHOLD 的 THRESHOLD（门限）值设置成默认值[1]。

UE 无线接入容量和 UE 无线接入容量扩展 IE 中包含了各种关于 UE 容量的信息，如支持传输和物理信道、是否支持加密、频段、发射/接收频率间隔、功率等级、定位方法以及频间测量和 RAT 间测量是否需要压缩模式。UE 从 RRC 连接建立消息的有效 UE _ CAPABILITY _ REQUEST（UE 容量请求）消息中重新得到它的 UTRA UE 无线接入容量信息单元，并将其放入 UE 无线接入容量与 UE 无线接入容量扩展 IE 中。

UE 系统指定容量 IE 中包含了关于 RAT 间指定 UE 无线接入容量的各种信息。UE 从 RRC 连接建立消息的有效 UE _ CAPABILITY _ REQUESTED（UE 所需的容量）中重新得到它的 RAT 间指定 UE 无线接入容量信息单元，并将其放入 UE 系统指定容量 IE 中。

4.4.4 RRC 连接释放

RRC 连接释放消息用来断开 RRC 连接，包括 UE 和 UTRAN 之间的所有无线接入承载和所有信令无线承载。通过连接释放操作，所有已经建立的信令连接都会被释放。在 RRC 连接释放过程中，NAS 层首先执行释放流程，并在一个呼叫过程结束时释放无线承载；然后当最后一个信令无线承载被释放之后，UTRAN 将释放 RRC 连接。另外，当 UE 处于 Cell _ DCH 状态或 Cell _ FACH 状态时，UTRAN 也可能会在一个随机的时间利用 DCCH 信道上的 UM RLC 来通过发送 RRC 连接释放消息，从而启动 RRC 连接释放流程。如果 UTRAN 中的下行 DCCH 信道不可用，而且 UE 处于 Cell _ FACH 状态时，那么 UTRAN 还可以通过在 CCCH 信道上发送一个 RRC 连接释放消息来启动 RRC 连接释放流程。

RRC 连接释放消息中包含了一个释放原因 IE，该 IE 用来解释连接释放产生的原因，这些原因包括正常事件、未指定优先释放、拥塞、重新建立拒绝、用户不活动和定向信令连接重建立。

UTRAN 可能会向 UE 发送多个 RRC 连接释放消息，这样可以提高接收的效率。在这种情况下，这些重复的消息 RRC 消息序号（RRC Sequence Number，RRC SN）必须是相同的。但是，重复消息的数量和消息之间的间隔是可选的。

根据首先接收到的 RRC 连接释放消息，UE RRC 会将释放原因传送到 NAS 层，NAS 层对释放原因进行解释并做出相应的处理。通常，UE 负责执行 RRC 连接释放流程，并利用 AM RLC 在 DCCH 信道上向低层发送一个 RRC 连接释

放完成消息给UTRAN。关于RRC连接释放更详细的信息，读者可以阅读参考文献［1］。

4.5 加密和完整性保护控制

加密过程是一个用来保护所有用户数据和信令并防止被非授权用户窃听的安全措施，而完整性保护是一个用来防止信令消息被非授权设备截获的一种消息授权方法。UTRAN RRC可以在呼叫建立过程中发起加密和完整性保护流程。

在加密过程中，UTRAN会利用最新的加密配置在AM RLC的下行DCCH信道上发送一个安全模式命令消息，以启动或修订加密过程。RRC负责对RLC层和MAC层进行配置，以在指定的激活时间内执行加密功能。

在完整性保护过程中，UTRAN还会利用新的完整性保护配置在AM RLC层的下行DCCH信道中发送一个安全模式命令，以启动或修订完整性保护过程。RRC利用事先协商的完整性密钥来为每个发送的消息计算消息认证码（MAC-I），并使每个消息接收到的MAC-I生效。这样，完整性保护就可以为UTRAN与UE之间的每一次消息交换提供一定程度的认证保护，以防用户数据被非法侦听。

在加密和完整性保护中，当UE从UTRAN接收到一个安全模式命令时，UE通常会响应一个安全模式完成消息。

安全模式命令消息

为了启动、停止或修订加密和完整性保护，UTRAN必须发送一个安全模式命令消息给UE。安全模式命令消息中包含了各种IE，如安全性能、加密模式信息、完整性保护模式信息和CN域标识。其中，安全性能IE中包含了各种支持的算法。目前，为UMTS定义的算法包括UEA1加密算法和UIA1完整性保护算法，它们都基于Kasumi算法[1]。

加密模式信息IE中提供了关于启动/停止加密、加密算法、DCH TM激活时间和UM/AM激活时间的信息。激活时间是为每个无线承载定义的。如果CN域标识IE指定的CN域中透明模式（Transparent Mode，TM）无线承载存在，那么激活时间就是一个连接帧编号（Connection Frame Number，CFN），该编号是8帧的倍数。对于未确认模式和确认模式无线承载，激活时间是一个RLC序号。

完整性保护模式信息IE提供了关于完整性启动和修订的信息。在完整性启动中，提供了完整性初始化编号，称为FRESH[5]；在完整性修订中，为每个信令无线承载都提供了一个激活时间，该激活时间是一个RRC序号（RRC SN）。在拥有确定完整性保护激活时间的信令无线承载中，提供了一个新的RRC序号；

在没有确定完整性保护激活时间的信令无线承载中，将重新使用之前安全模式控制流程中使用过的旧 RRC 序号。

4.6　无线承载控制

如前所述，RRC 控制着 UTRAN 和 UE 之间的无线承载建立、重新配置和释放过程。为了启动这些操作过程，UTRAN 必须向 UE 发送一个无线承载建立消息（用来建立无线承载）、一个无线承载重新配置消息（用来重新配置无线承载）和一个无线承载释放消息（用来释放无线承载），这些消息是通过 AM 或 UM RLC 在下行 DCCH 信道上发送的。无线承载建立和无线承载重新配置消息中包含了关于 RLC 层、MAC 层、传输信道、物理信道以及逻辑信道与传输信道之间映射的各种参数。

当无线承载建立、重新配置或释放流程成功完成时，UE 会向 UTRAN 发送一个无线承载建立完成消息、无线承载重新配置完成消息或无线承载释放完成消息，这些消息是通过 AM RLC 在上行 DCCH 信道上发送的。如果无线承载建立、重新配置或释放流程没有完成，那么 UE 将会向 UTRAN 发送一个无线承载建立失败、无线承载重新配置失败或无线承载释放失败消息。

无线承载通常只适用于连接模式，而 UE 呼叫状态负责决定需要建立什么无线承载。当 UE 处于 Cell_PCH 状态或 URA_PCH 状态时，就不存在 SRB 或 RAB；如果 UE 需要发送信令消息或启动一个呼叫，那么 UE 必须转换到 Cell_FACH 状态，并在上行 CCCH 信道上向 UTRAN 发送一个信令消息，之后上行 CCCH 信道映射到 RACH 信道；然后 UTRAN 将启动无线承载建立流程，该流程负责建立 SRB，但可能会也可能不会建立 RAB（根据需要）。当 UE 处于 Cell_DCH 状态或 Cell_FACH 状态时，会建立 SRB，但是 RAB 可能会也可能不会建立。通常，作为 RRC 连接建立流程的一部分，当 UE 第 1 次进入 Cell_DCH 状态或 Cell_FACH 状态时，会建立 SRB，而 RAB 可能稍后建立。在无线承载释放中，UTRAN 可能会释放 RAB 而只保留 SRB，也可能同时释放 SRB 和 RAB。

4.6.1　无线承载建立

在无线承载建立过程中，UTRAN 会在逻辑 DCCH 信道上向 UE 发送无线承载建立消息来配置 SRB 和 RAB，DCCH 信道之后将映射到传输信道 FACH 或 DCH 上。无线承载建立消息与 RRC 连接建立消息非常相似，而且该消息中的各种 IE 与 RRC 连接建立消息中的各种 IE 相同。这两个消息之间的区别在于 UTRAN 移动性信息、RB 信息和传输信道信息域。无线承载建立消息中包含了 URA 标识、RAB 建立信息、会受影响的 RB 信息、删除的上行 TrCH 信息和删

除的下行TrCH信息IE，而RRC连接建立消息中没有这些信息IE，URA标识IE是可选的，而且当SIB类型2中存在多个有效URA时，URA标识IE可用来告知UE使用指定的URA标识。建立IE的RAB信息通常用于建立RAB，标识RAB或指定RAB属于的核心网域。受影响的RB信息IE中包含了关于之前建立的无线承载的新RB映射信息，当添加新SRB和RAB时，之前的无线承载会受到影响。删除的上行TrCH信息和删除的下行TrCH信息IE通常用来删除之前建立的传输信道。

4.6.2　无线承载重新配置

在无线承载重新配置中，UTRAN会在逻辑信道DCCH上向UE发送无线承载重新配置消息，DCCH信道之后映射到传输信道FACH或DCH上。无线承载重新配置消息与无线承载建立消息非常相似，通常用来实现UE在Cell_DCH状态和Cell_FACH状态之间的转换，以支持分组数据业务，并将专用逻辑信道映射到专用物理信道（UE处于Cell_DCH状态时）或映射到公共物理信道（UE处于Cell_FACH状态时）。无线承载重新配置消息也可以用来重新配置专用信道的数据速率。在无线承载重新配置流程中，UTRAN会指示上行传输应该停止或在某个无线承载上继续传输。但是，SRB上的RRC信令上行传输不能停止。

除了无线承载重新配置消息外，还有传输信道重新配置消息和物理信道重新配置消息。传输信道重新配置消息通常被UTRAN用来配置UE传输信道，也可以用来分配一个TFC子集并重新配置物理信道；物理信道重新配置消息通常被UTRAN用来分配、替换或释放UE使用的一组物理信道。

4.6.3　无线承载释放

在无线承载释放中，UTRAN会向UE发送无线承载释放消息来释放无线承载。无线承载释放消息中包含了传输信道和物理信道的配置修订信息。当一个或多个无线承载被释放后，剩下的无线承载连同传输信道和物理信道就会一起重新进行配置。在并发业务中，当UE连接到多个CN域时，无线承载释放消息可以用来指示信令连接的释放。例如，如果UE同时具有话音呼叫和分组数据呼叫，那么无线承载释放消息就可以用来释放话音呼叫RAB，并重新配置分组呼叫RAB，使UE从Cell_DCH状态转换到Cell_FACH状态。

4.7　UE移动性的RRC管理

UE移动性的管理也是RRC的功能之一，其中多个流程用来处理UE的移

动性。根据不同的UE呼叫状态（UE处于CS呼叫还是PS呼叫）和不同的目标蜂窝单元无线接入技术，将使用不同的处理流程。蜂窝重选流程通常在UE处于空闲模式、Cell _ FACH状态、Cell _ PCH状态或URA _ PCH状态下使用，蜂窝更新和URA更新流程通常在UE处于Cell _ FACH状态、Cell _ PCH状态或URA _ PCH状态下使用。当UE处于CS呼叫过程中时，通常使用动态集更新和从UTRAN到RAT间切换流程；当UE处于PS呼叫过程中时，通常使用从UTRAN到RAT间蜂窝变更顺序切换流程。

4.7.1 蜂窝重选

当UE处于空闲模式、Cell _ PCH状态、URA _ PCH状态或Cell _ FACH状态时，UE会继续搜索更好的蜂窝单元。蜂窝重选就是一个用来确定相邻蜂窝单元是否比当前服务蜂窝单元更好的流程，UE的RRC层负责执行蜂窝重选流程。UE根据系统信息消息提供的参数来决定是否进行蜂窝切换。根据不同的UE呼叫状态和UTRAN发送的SIB，使用不同SIB中的蜂窝重选参数。

当UE处于空闲模式时，通常使用SIB类型3和SIB类型11中的蜂窝重选参数来确定相邻蜂窝单元是否比当前服务蜂窝单元更好。在空闲模式中，UE不必向UTRAN告知蜂窝重选已经发生。当UE处于Cell _ PCH状态、URA _ PCH或Cell _ FACH状态时，通常使用SIB类型4和SIB类型12中的蜂窝重选参数来实现蜂窝重选。如果这些SIB无法使用，那么UE将继续使用SIB类型3和SIB类型11中的蜂窝重选参数。与空闲模式不同，在Cell _ PCH状态、URA _ PCH或Cell _ FACH状态下，UE必须利用蜂窝更新或URA更新流程来向UTRAN告知它已经移动到了一个新的蜂窝单元。关于蜂窝重选更加详细的内容，将在第8章中进行阐述。

4.7.2 蜂窝更新与URA更新流程

蜂窝更新和URA更新流程通常被连接模式下的UE用来向UTRN告知UE已经搜索到了新的蜂窝单元。如果UE处于Cell _ FACH或Cell _ PCH状态，那么UE将利用蜂窝更新消息来向UTRAN告知UE何时移动到新的蜂窝单元。类似地，如果UE处于URA _ PCH状态，那么UE将利用URA更新消息来向UTRAN告知UE何时移动到新的URA。

1. 蜂窝单元更新流程

当UE处于Cell _ FACH或Cell _ PCH状态时，UE通常利用蜂窝单元更新流程来使UTRAN掌握UE搜索到的蜂窝单元信息。如果UE处于Cell _ PCH状态，UTRAN可以在某个蜂窝单元中寻呼UE。为了确保UE可以被寻呼到，UE无论移动到哪里，都必须发送一个蜂窝更新消息来通知UTRAN。值得注意

的是，UE在发送蜂窝更新消息给UTRAN时，UE首先必须转换到Cell_FACH状态。当UE处于Cell_FACH状态时，其专用逻辑信道会被重新路由到新搜索到的蜂窝单元中。根据UE进入新蜂窝单元的通知，UTRAN通常会响应一个蜂窝单元更新确认消息。但是，UTRAN也可以响应一个RRC连接释放消息，之后UE将执行RRC连接释放流程，并释放所有的专用资源，返回到空闲模式。

如果UE需要发送数据或被网络寻呼，除了必须利用蜂窝重选来搜索新的蜂窝单元之外，UE首先还必须执行蜂窝更新流程。另外，为了报告可能的无线链路失败信息，蜂窝更新流程也可以配置成周期性的。

2. URA更新流程

URA更新流程通常用来更新UTRAN中关于UE所处URA的信息。当UE处于URA_PCH状态时，UTRAN必须知道UE的URA。利用蜂窝重选，UE可能会移动到一个信道蜂窝单元中去。如果UE移动到了一个属于不同URA的蜂窝单元中，UE必须通过向UTRAN发送一个URA更新消息来执行URA更新流程；而且，UE在发送URA更新消息之前，必须先转换到Cell_FACH状态。根据接收到的URA更新消息，UTRAN通常会响应一个URA更新确认消息。UTRAN也可能会主动发送一个RRC连接释放消息，之后UE将执行RRC连接释放流程，并释放所有的专用资源，返回到空闲模式。

4.7.3　动态集更新流程

动态集更新流程通常用来添加或删除UE与UTRAN之间的动态连接集。当UE处于Cell_DCH状态时，通常也满足了软切换条件，也就是说，UE与多个蜂窝单元同时建立了无线链路。UE已经建立无线链路的蜂窝单元集称为“动态集”。当UTRAN命令UE在动态集中添加或删除蜂窝单元时，动态集更新流程就被启动了，这个过程是通过在下行DCCH信道上利用AM或UM RLC向UE发送动态集更新消息来实现的。动态集更新消息中包含了无线链路添加信息和无线链路删除信息IE。其中，无线链路添加信息IE中包含了各种下行DPCH信息，如主扰码、帧补偿（PCCPCH和DPCH信道之间的时间差）、扩频因子、OVSF代码数和发送功率合并索引；无线链路删除信息IE中包含了主扰码。为了将蜂窝单元添加到动态集中，必须使用无线链路添加信息IE；而为了将蜂窝单元从动态集中删除，只需要使用主扰码来指定蜂窝单元。根据接收到的动态集更新消息，UE会将无线链路添加信息IE中指定的蜂窝单元添加到动态集中，并将无线链路删除信息IE中指定的蜂窝单元从动态集中删除。

4.7.4　RAT 间移动性

无线接入技术间（Inter Radio Access Technology，Inter-RAT）移动性，包括 UE 与 UTRAN 之间的连接从一种接入技术到另一种接入技术的转换。最典型的例子就是，连接从 UMTS 转换到 GSM。发生 RAT 间转换的原因可能是蜂窝重选，也可能是切换。在蜂窝重选导致的 RAT 间转换中，UE 会试图与 RAT 间蜂窝建立一个连接，而不需要 UTRAN 的指导。如果 UE 成功连接到一个 RAT 间蜂窝，那么核心网将会告知 UTRAN，以便 UTRAN 释放所有的 UE 专用资源。关于 RAT 间蜂窝重选的具体内容，将在第 8 章中进行详细阐述。

在切换导致的 RAT 间转换中，转换过程是由 UTRAN 发起的。RAT 间转换的流程和消息在电路交换（CS）域和分组交换（PS）域中是不同的。在 CS 域中，当 UE 处于 Cell_DCH 状态时，UTRAN 通过向 UE 发送从 UTRAN 命令消息来将 CS 连接从 UTRAN 转换到 GSM；在 PS 域中，当 UE 处于 Cell_DCH 状态或 Cell_FACH 状态时，UTRAN 通过向 UE 发送从 UTRAN 的蜂窝变更顺序消息来将 PS 连接从 UTRAN 转换到 GPRS。

1. UTRAN 切换命令消息

UTRAN 切换命令消息通常用于 RAT 间 CS 连接转换。当 UE 处于 Cell_DCH 状态时，UTRAN 通过向 UE 发送 UTRAN 切换命令消息来实现 RAT 间蜂窝单元的切换。UTRAN 切换命令消息中包含了关于 RAB 转换、目标蜂窝单元标识符和目标 RAT 相关无线参数的信息，如频段。即使 UE 之前没有在目标蜂窝单元中执行任何功能，UE 也必须能够接收到该消息并执行 RAT 间切换。

根据接收到的 UTRAN 切换命令消息，UE 必须利用该消息中包含的信息来与目标蜂窝单元建立连接。同时，UE 也必须将上层实体（该实体与消息中指定的 CS 域 RAB 对应）连接到目标 RAT 提供的无线资源上。

如果 UE 成功完成 RAT 间切换，那么 CS 核心网将会通知 UTRAN，以便 UTRAN 释放无线连接，并删除所有的 UE 上下文信息；如果 UE 没有完成要求的 RAT 间切换流程，那么 UE 将保持与 UTRAN 之间的连接，并发送一个从 UTRAN 切换失败消息给 UTRAN，同时结束 RAT 间切换流程。

2. UTRAN 的蜂窝变更顺序消息

UTRAN 的蜂窝变更顺序消息通常用于 RAT 间 PS 连接转换。当 UE 处于 Cell_DCH 状态或 Cell_FACH 状态时，UTRAN 通过向 UE 发送 UTRAN 的蜂窝变更顺序消息来实现 RAT 内蜂窝单元变更，而不是 UTRAN 内蜂窝变更。UTRAN 的蜂窝变更顺序消息中包含了关于目标蜂窝单元标识、目标 RAT 相关无线参数的信息。当没有 RAB 建立或 RAB 只在 PS 域中建立时，可以使用蜂窝变更顺序流程；如果不存在 PS 信令连接，将不会使用该流程。即使 UE 之前没

有在目标蜂窝单元中执行任何功能，UE也必须能够接收到该消息并执行蜂窝变更。

根据接收到的UTRAN的蜂窝变更顺序消息，UE应该启动定时器T309，并利用消息中包含的信息与目标蜂窝单元建立连接。T309的范围为1～8 s，默认值为5 s。

当UE从RAT接收到一个成功响应时，就认为蜂窝变更顺序流程已经完成。如果UE成功完成了RAT间蜂窝变更，那么UE将会停止定时器T309，并清除UE或根据离开UTRAN RRC连接模式来设置UE变量。之后，UTRAN将释放无线链路并删除所有的UE上下文信息。值得注意的是，UMTS无线资源的释放流程是由目标RAT启动的，而不是由PS核心网启动的。

如果定时器T309在UE与目标RAT成功建立连接之前就过期，或者UE由于其他原因（如接入失败或缺乏资源）而无法与其他RAT建立连接的话，那么UE将保持与UTRAN的连接，并向UTRAN发送一个从UTRAN蜂窝变更顺序失败消息，从而结束蜂窝变更顺序流程。

4.8　测量与报告

UTRAN可以通过广播系统信息（SIB类型11和SIB类型12）或向UE发送一个测量控制消息来控制UE的测量操作。当UE处于Cell_DCH状态或Cell_FACH状态时，UTRAN可以向UE发送一个测量控制消息，该消息中包含了UE执行测量时所需的各种信息。UE执行的测量操作包含很多类型，包括频内测量、质量测量（传输信道块错误率）、UE内部测量（UE发射功率）、流量大小测量和UE位置测量。同时，UE会定期或在请求测量事件被触发时向UTRAN发送一个测量报告消息。

4.8.1　测量控制消息

UTRAN通常在逻辑信道DCCH上给UE发送测量控制消息，DCCH信道之后将映射到传输信道DCH或FACH上。通过发送测量控制消息，UTRAN可以请求UE来建立、修订或释放UE端的测量操作。测量控制消息中必须包含测量标识、测量命令和测量类型。根据测量类型，测量控制消息中还可以包含以下控制信息：测量目标、测量数量、报告参数、测量报告标准、测量有效性、测量报告模式、附加测量标识和压缩模式信息。

其中，测量标识是一个参考数字，通常被UTRAN用来建立、修订或释放测量操作，或被UE用于测量报告过程中；测量命令用来向UE通知进行建立、修订或释放测量操作；测量类型定义了测量操作的类型和所有与测量标识相关的

被释放的参数；测量目标列出了 UE 执行测量操作时对应的目标；测量数量指定了 UE 必须对测量目标执行测量的次数；报告参数指明了 UE 必须包含在报告中的参数（除了强制性的之外）；测量报告标准可以是周期性的，也可以是由事件触发的；测量有效性定义了测量有效时 UE 的状态；测量报告模式指明了报告是以 AM 的模式发送还是以 UM 的模式发送；附加测量标识中包含了其他测量的报告参数（无论当前测量操作的测量报告是否触发）；压缩模式信息中包含了激活或解除激活压缩模式样式的信息。

4.8.2　质量测量

质量测量是测量控制消息中包含的测量类型之一，它包含了关于下行链路质量参数测量的信息，如传输信道块错误率。质量测量操作中包含了测量报告参数，同时还可能包含参数报告标准、周期性报告标准或无报告。其中，质量报告参数列出了 UE 需要报告块错误率的各个传输信道；质量报告标准中包含了报告事件 5A 的参数（事件 5A 用来决定质量报告何时应该发送），这些参数包括所有 CRC、无效 CRC 和触发后未确定（Pending After Trigger）；周期性报告标准定义了报告示例的参数和报告间隔；无报告通常用来定义将要涉及到的测量操作（除了后来的其他测量操作的标识之外）。关于质量测量操作更详细的内容，读者可以阅读参考文献 [1]。

4.8.3　UE 内部测量

UE 内部测量 IE 中包含了关于 UE 内部测量操作的各种信息，包括测量参数和报告参数，也可能包括 UE 内部报告标准、周期性报告标准或无报告。其中，测量参数指明了应该测量的参数，如 UE 传输功率、UE 接收信号强度指示（Received Signal Strength Indicator，RSSI）或 UE 收/发时差；报告参数定义了事件所需的报告参数之外的其他报告参数；UE 内部报告标准定义了报告事件 6A～6G 以及相关的门限和触发时间。报告事件 6A～6G 的定义如下：

1）报告事件 6A：UE 的发射功率变得比绝对门限值大；
2）报告事件 6B：UE 的发射功率变得比绝对门限值小；
3）报告事件 6C：UE 的发射功率达到最小值；
4）报告事件 6D：UE 的发射功率达到最大值；
5）报告事件 6E：UE RSSI 达到 UE 的动态接收端范围；
6）报告事件 6F：动态集中无线链路的 UE 收/发时差变得比绝对门限值大；
7）报告事件 6G：动态集中无线链路的 UE 收/发时差变得比绝对门限值小。

4.9 NAS消息路由

NAS消息路由也是RRC功能之一。通过接入层协议，UE RRC和UTRAN RRC利用初始直接传输消息、上行直接传输消息和下行直接传输消息来实现UE NAS和UTRAN NAS之间的消息路由功能。

初始直接传输消息通常用于无线接口中的上行链路，用来建立信令连接和承载初始UE NAS消息。当UE NAS请求传输NAS消息时，UE RRC会对初始直接传输流程进行初始化。UE RRC首先向UTRAN RRC发送消息，同时不改变消息中的内容，然后UTRAN RRC将消息路由给CN。图4-14给出了初始直接传输示意图。

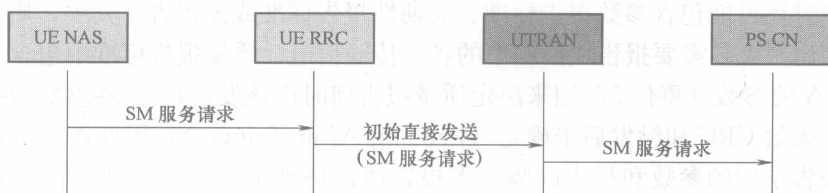


图4-14 初始直接传输示意图

下行直接传输负责在无线链路下行方向上承载NAS消息。当上层请求在现有信令连接上传输NAS消息时，UE RRC负责初始化下行直接传输流程。例如，上行直接传输流程可以传输从UE到CN的认证或加密响应。

4.10 小结

RRC负责通过控制接口来对接入层中RRC以下的其他层进行控制和配置，同时还为非接入层提供一个控制和信令接口。总体来说，RRC功能包括接入层控制、系统信息处理、寻呼与公告、RRC连接管理、加密与完整性保护控制、无线承载控制、UE移动性的RRC管理、功率控制、测量控制与报告以及NAS层消息路由。

UTRAN RRC负责向所有BCH信道上的UE广播系统信息消息，UE在搜索到蜂窝单元后，先从BCH信道上获取所有关于蜂窝单元的系统信息消息，这些消息中包含了各种信息单元，这些信息单元承载着接入层和非接入层的信息。系统信息单元是以系统信息块（SIB）的形式进行广播的。一个系统信息块中可能包含一个或多个系统信息单元。其中，主信息块（MIB）中包含了蜂窝单元中多个SIB的参考和调度信息，还可能包含了一个或两个调度块（SB）的参考和

调度信息。调度块为附加 SIB 提供了参考和调度信息，SIB 的调度信息可能只包含在 MIB 或某个 SB 中。

SIB 具有很多类型，具体包括类型 1～18。除了类型 15.2、类型 15.3 和类型 16 之外，SIB 的其他所有使用值标签的类型其每一项具体值都是相同的；而类型 15.2、类型 15.3 和类型 16 可能会由于不同的内容而出现多次。

每一种 SIB 都拥有自身惟一的功能和结构。SIB 类型 1 中包含了核心网域信息和 UE 定时器和固定数据项；SIB 类型 2 中包含了多达 8 个 URA 标识，该标识在当前蜂窝单元中有效；SIB 类型 3 和类型 4 中包含了关于蜂窝重选流程的信息；SIB 类型 5 和 6 中包含了关于公共物理信道的信息；SIB 类型 7 中包含了与上行 PRACH 传输相关的快速改变参数信息；类型 8、类型 9 和类型 10 中只能用于 UE 处于连接模式下的 FDD 情形，UE 必须存储所有与这 3 类 SIB 相关的信息；SIB 类型 11 和类型 12 中包含了关于蜂窝测量控制的信息；SIB 类型 13 中包含了关于 ANSI-41 的系统信息；SIB 类型 14 中包含了只能用于 3.84 Mcps 的 TDD 情形；SIB 类型 15 中包含了对基于 UE 的定位法或 UE 辅助定位法有用的信息；SIB 类型 16 中包含了关于无线承载、传输信道和物理信道参数的信息，这些参数由 UE 存储（空闲模式和连接模式）；SIB 类型 17 中包含了关于共享物理信道配置的快速变化参数信息，这些信道通常用于连接模式下的 TDD 情形；SIB 类型 18 中包含了关于相邻蜂窝单元 PLMN 标识的列表信息。

RRC 还负责实现寻呼和公告功能，寻呼包括两种类型：寻呼类型 1 和寻呼类型 2。其中，寻呼类型 1 通常在 UE 处于空闲模式、Cell _ PCH 状态或URA _ PCH 状态时使用；寻呼类型 2 通常在 UE 处于 Cell _ DCH 状态或 Cell _FACH 状态时使用。

在 RRC 连接管理中，RRC 负责建立、保持和释放 UE 和 UTRAN 之间的 RRC 连接。通常，UE 发起 RRC 连接建立请求，UTRAN 负责建立和释放 RRC 连接。

UTRAN RRC 可以在呼叫建立过程中实现加密和完整性保护功能。其中，加密是一种用来保护用户数据、并防止信令被未授权的实体侦听的安全措施；而完整性保护是一种用来防止信令消息被未授权设备截取和替换的消息认证方法。

RRC 还负责控制 UTRAN 和 UE 之间无线承载的建立、重新配置和释放。为了启动这些操作，UTRAN 必须向 UE 发送 1 个无线承载建立消息（用来建立无线承载)、1 个无线承载重新配置消息（用来重新配置无线承载）和 1 个无线承载释放消息（用来释放无线承载)。当无线承载建立、重新配置或释放流程成功完成时，UE 会分别发送 1 个无线承载建立完成消息、1 个无线承载重新配置完成消息或 1 个无线承载释放完成消息给 UTRAN。

RRC 还负责实现 UE 移动性流程。根据 UE 不同的呼叫状态（UE 处于 CS

呼叫过程还是PS呼叫过程)和目标蜂窝单元不同的无线接入技术，RRC将采用不同的流程。移动性流程包括，蜂窝重选、蜂窝更新、URA更新、动态集更新和RAT间移动性。

在测量控制中，UTRAN通过广播系统信息（SIB类型11和SIB类型12）或发送一个测量控制消息给UE来控制UE的测量流程。当UE处于Cell _ DCH状态或Cell _ FACH状态时，UTRAN通常会发送测量控制消息给UE，该消息中包含了各种测量类型，包括频内测量、频间测量、RAT间测量、质量测量（如传输信道块错误率）、流量大小测量、UE位置测量和UE内部测量（如UE发射功率）。当请求的测量事件被触发时，UE会发送一个测量报告给UTRAN，也可能会周期性地给UTRAN发送消息。

在NAS消息路由中，通过接入层协议，UE RRC和UTRAN RRC利用初始直接传输消息、上行直接传输消息和下行直接传输消息来实现UE NAS和UTRAN NAS之间的消息路由功能。

参考文献

[1] 3GPP TS 25.331，v5.7.1. Radio Resource Control（RRC）protocol specification，Release 5.

[2] 3GPP TS 25.304，v5.3.0. User Equipment（UE）procedures in idle mode and procedures in cell reselection in connected mode，Release 5.

[3] RTCM-SC104. RTCM Recommended Standards for Differential GNSS Servicev. 2.2.

[4] ICD-GPS-200. Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interface.

[5] 3GPP TS 33.102，v5.5.0. 3G Security；Security Architecture，Release 5.

第5章　无线链路控制层

接入层协议栈的第2层（L2）主要由4个子层构成：分组数据汇聚协议（PDCP）子层、广播/多播控制（BMC）子层、无线链路控制（RLC）子层和媒体接入控制（MAC）子层。

每个子层都拥有各自不同的功能。其中，分组数据汇聚协议子层负责对IP数据流帧头（如TCP/IP和RTP/UDP/IP）进行压缩和解压缩；广播/多播控制子层负责提供蜂窝广播功能；无线链路控制子层负责提供用户数据的分段、合并、重组、填充和传输等功能；媒体接入控制子层负责将逻辑信道映射到传输信道，并负责实现流量大小报告和传输格式选择。

本章将主要阐述无线链路控制子层（RLC）。首先简要介绍L2基础，然后重点阐述RLC功能、结构和数据传输模式。同时，本章还包含了RLC加密和RLC可配置参数等内容。

5.1　L2基础

要想详细掌握RLC，首先必须熟悉以下几个专用名词：SDU、PDU和CCTrCh，这几个专用名词在RLC层和MAC层中非常重要。

业务数据单元（Service Data Unit，SDU）是层与层之间通信的基本数据单元，它在协议的各层和子层之间传输。在发送端，各层接收来自其上层的SDU；在接收端，各层接收来自其下面各层的SDU。

协议数据单元（Protocol Data Unit，PDU）是对等各层之间通信的基本数据单元，它主要在UE和UTRAN的对等层之间传输。PDU来自SDU，例如在发送端，RLC通过分段、合并、添加帧头等操作将从RRC层接收到的SDU转换成一个或多个PDU，这些PDU就成了MAC层的SDU；在接收端，RLC通过重组、去除帧头等操作将从MAC层接收到的SDU转换成PDU，这些PDU就成了RRC层的SDU。

传输时间间隔（Transmission Time Interval，TTI）是一个时间间隔，在该间隔内，MAC为传输信道生成一组传输块。换句话说，TTI是指将一组数据发送到传输信道上的一段时间。在Release 99规范中，每个传输信道都将TTI配置成可以支持10 ms、20 ms、40 ms和80 ms的模式；HSDPA（Release 5）中的传输信道将TTI配置成可以支持2 ms。

编码复用传输信道（Coded Composite Transport Channel，CCTrCh）是一个复用信道，它由一个或多个传输信道的编码传输块组成。在发送端，MAC层在TTI内发送一组传输块到物理层中，然后物理层为每个传输块添加一个CRC，并通过一系列的处理步骤（如传输块组合、编码块分段、信道编码、速率匹配、DTX插入、交叉和无线帧分段等）来发送这些传输块。如果TTI的长度超过10 ms，那么无线帧分段会将TTI划分成各个10 ms的无线帧。在无线帧分段之后，传输信道就会利用10 ms的无线帧来实现连续复用，形成一个CCTrCh信道。

协议栈中，在发送端，每层都可以为其上层提供服务，并可以使用其下层提供的服务；在接收端，每层都可以为其下层提供服务，并可以使用其上层提供的服务。UE和UTRAN之间各个对等的层之间将PDU作为基本数据单元来实现相互通信。

当UTRAN RRC发送一个信令消息给UE RRC时，该消息必须从上至下经过UTRAN的协议栈，即从RRC层到物理层，最后通过物理层的空中接口发送给UE。在UE侧，该消息将从下至上经过UE的协议栈，即从物理层到RRC层。图5-1给出了对等各层之间通信的示意图。在UTRAN侧，信令消息被打包到一个RRC PDU中，并发送到RLC层，作为RLC SDU；然后RLC层通过添加RLC帧头将该RLC SDU转换成RLC PDU，并发送到MAC层，作为MAC SDU；之后，MAC层将该MAC SDU通过添加MAC帧头转换成MAC PDU，并发送到物理层。

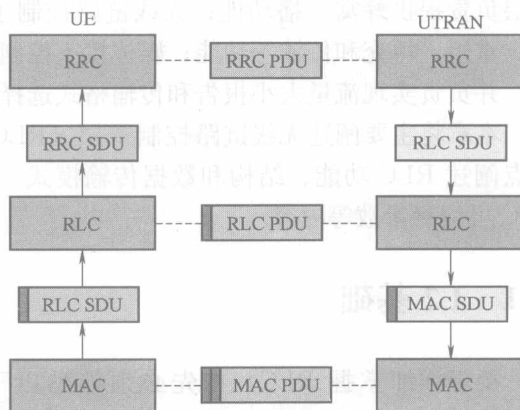


图5-1 UE和UTRAN之间对等各层之间的通信

在UE侧，物理层首先将数据发送到MAC层，MAC层去除MAC帧头，并将数据发送到RLC层；然后RLC层去除RLC帧头，并将数据发送到RRC层。此时，UE RRC接收到的数据就和UTRAN RRC初始发送的数据是相同的，其中包含了UTRAN发送的初始RRC信令消息。

5.2 RLC层功能

RLC层功能包括分段、重组、合并、填充、用户数据传输、纠错、上层PDU顺序发送、复制检测、流控制、序号检查、协议纠错与恢复、加密和SDU

丢弃等。RLC 还在控制平面和用户平面的应用层中为 RRC 提供服务。

RLC 层支持 3 种数据传输模式：透明（TM）模式、未确认（UM）模式和确认（AM）模式。对于各种的数据传输模式，必须利用上面提到的部分或全部功能来支持数据传输业务。对于 TM 数据传输模式来说，需要分段和重组、用户数据传输和 SDU 丢弃等功能。UM 数据传输业务需要附加的功能来支持，如合并、填充、加密和序号检查等功能。对于 AM 数据传输模式来说，除了序号检查之外，UM 数据传输业务需要的所有功能在 AM 传输模式中也需要。也就是说，AM 数据传输业务也需要纠错、上层 PDU 顺序发送、复制检测、流控制和协议纠错与恢复等功能。

5.3　RLC 层实体

如图 5-2 所示，RLC 层中包含了 TM、UM 和 AM RLC 实体，这些实体用来传输信令和用户数据。TM 和 UM RLC 实体可以配置成发送 RLC 实体或接收 RLC 实体。其中，AM RLC 实体由一个发送端和一个接收端组成。RLC 和 RRC 之间的数据流称为信令无线承载（Signaling Radio Bearer，SRB），RLC 和用户应用层之间的数据流称为无线接入承载（Radio Access Bearer，RAB）。SRB 负责传输 RLC 和 RRC 层之间的信令 SDU，RAB 负责传输 RLC 和应用层之间的用户数据 SDU。RLC 和 MAC 之间的数据流通道称为“逻辑信道”，逻辑信道用来传输 RLC 和 MAC 之间的数据和信令 SDU。每个 SRB 和 RAB 都映射到一个逻辑信道。当 RRC 将一个 SRB 或 RAB 映射到一个逻辑信道上时，同时也会分配一个 RLC 实体，并将数据传输模式配置成 TM、UM 或 AM 模式。每个 TM 和 UM RLC 实体利用一个逻辑信道来发送或接收信令和数据 SDU。AM RLC 实体可以配置成使用一个或两个逻辑信道来发送或接收信令和数据 SDU。如果配置成两个逻辑信道，那么这两个逻辑信道必须是同一种类型的，如 DCCH 或 DTCH 信道。

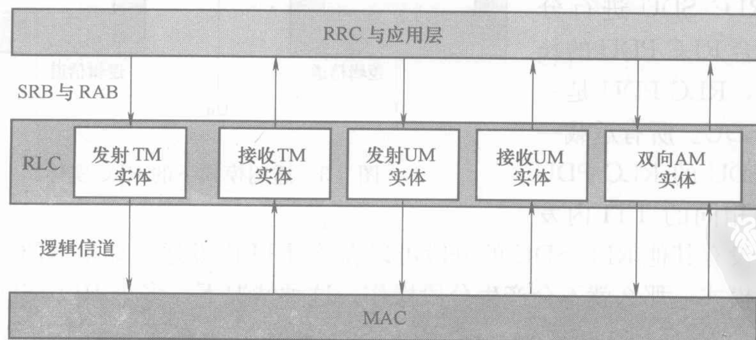


图 5-2　RLC 层实体

5.4 RLC层数据传输模式

如前所述，RLC实体可以配置成TM、UM或AM模式。对于TM和UM模式来说，发送实体和接收实体是分开进行配置的。对于AM模式，单个实体同时负责发送和接收。

BCCH信道、PCCH信道、上行CCCH信道和电路交换DTCH信道通常使用TM模式；下行CCCH信道通常使用AM模式。连接模式下RRC通常会分配两个DCCH信道，一个使用UM模式，另一个使用AM模式。连接模式下NAS通常会分配一个DCCH信道，使用AM模式。分组交换DTCH信道通常既可以使用UM模式，也可以使用AM模式。

5.4.1 RLC透明模式

在透明模式下工作时，业务是不可靠的。图5-3给出了对等RLC实体的两种透明模式模型。发送TM实体负责从上层接收RLC SDU，所有接收到的RLC SDU的长度必须是有效RLC PDU长度的整数倍。RLC PDU被发送到逻辑信道上，并且无须添加RLC帧头。TM RLC实体可能只执行分段、重组和SDU丢弃功能。

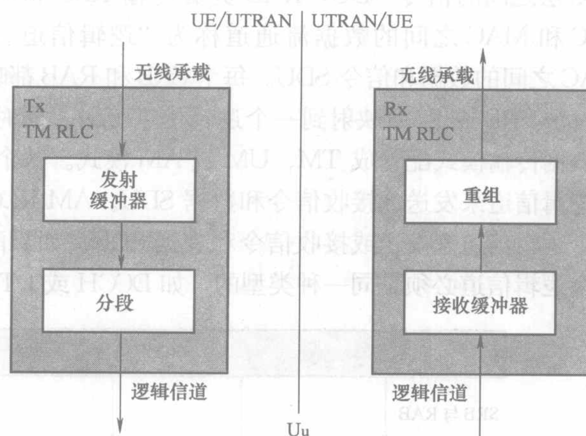


图5-3 透明模式下的RLC实体

在发送端（如UTRAN），如果RRC已经配置了分段模式，而且RLC SDU的长度大于MAC层中TTI使用的RLC PDU的长度，那么发送TM RLC实体将会对从上层接收到的RLC SDU进行分段，以适合RLC PDU的长度。注意，RLC PDU是一个MAC SDU。所有承载一个RLC SDU的RLC PDU都在一个相同的TTI内发送，而且没有其他RLC SDU的分段可以在该TTI内发送。如果RRC还没有配置成分段模式，那么就不会产生分段操作。这种情况下，多个RLC SDU就可以通过在一个RLC PDU中放入一个RLC SDU的方式来在同一个TTI发送了。

在接收端（如UE），接收TM RLC实体负责通过逻辑信道从MAC层接收

RLC SDU。注意，这些在接收端接收到的 RLC SDU 就是从发送端发送出来的 RLC SDU。如果 RRC 已经配置成了分段模式，那么接收 TM 实体就会重组所有接收到的 RLC SDU，形成上层的 SDU，并将其发送到上层；如果还没有配置成分段模式，那么每个接收到的 RLC SDU 就可以看作是一个上层 SDU，这些上层 SDU 与那些发送端的发送 TM 实体接收到的 RLC SDU 是完全相同的。

如果发送 TM 实体配置成 SDU 丢弃模式，那么该实体就会执行 SDU 丢弃操作。通常，如果发送 TM 实体配置成基于时间的 SDU 丢弃模式，那么某个 SDU 在配置的时间内还没有发送的话就会被丢弃。但是，如果发送 TM 实体没有配置成 SDU 丢弃模式，而且新的 SDU 在前一个 SDU 发送之前已经达到，那么新的 SDU 将会直接对以前的 SDU 进行覆盖。

RLC TM 数据传输示例

图 5-4 给出了 RLC 透明模式下数据传输的示例。在该示例中，RLC TM 配置成 RAB 模式。应用层每 40 ms 生成的 PDU 最大长度为 103bit。RLC 首先将 PDU 映射到一个 DTCH 逻辑信道，同时不会在 PDU 上添加任何东西；之后，MAC 将 DTCH 逻辑信道映射到一个 DCH 传输信道上。这种情况下，是不需添加 MAC 帧头的，因为逻辑信道与传输信道之间的映射是一对一的。传输块的长度与 RLC PDU 中配置的长度相同，传输时间间隔配置成 40 ms。物理层负责对传输块进行编码、交叉、分段并复用到 CCTrCh 上，CCTrCh 中包含了 4 个 10 ms 的无线帧。其中，每个传输块有 1/4 长度的数据在第 2 个 10 ms无线帧中发送，1/4 在第 2 个 10 ms无线帧中发送，1/4 在第 3 个 10 ms 无线帧中发送，剩下的 1/4 在第 4 个 10 ms 无线帧中发送。值得注意的是，在交叉之后，传输块中的数据就被打乱了，第 1 个无线帧并不承载第 1 个 1/4 长度单元内所有的数据。

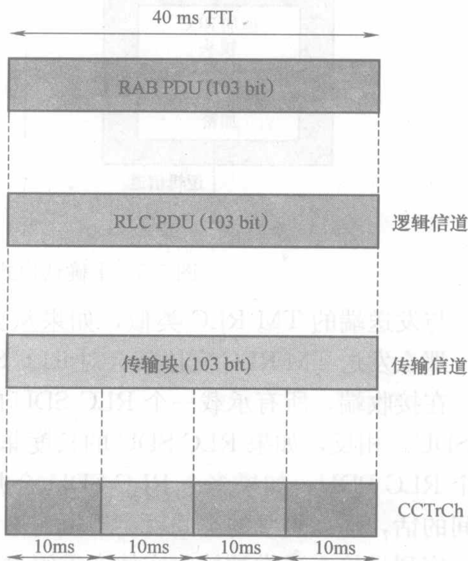


图 5-4　透明模式下 PDU 示例

5.4.2　RLC 未确认模式

当工作在未确认模式时，SDU 可以是任意长度的，但其业务是不可靠的。在 UM 下操作中，RLC 为每个 PDU 添加帧头，PDU 中承载了关于分段、合并

和序列号的信息。图 5-5 给出了未确认模式的工作示意图。图 5-5 中，在发送端，UM RLC 发送实体负责执行分段与合并、RLC 帧头添加、加密、填充和 SDU 丢弃等操作；在接收端，UM RLC 实体负责执行解密、RLC 帧头去除、序列号检查和重组等操作。

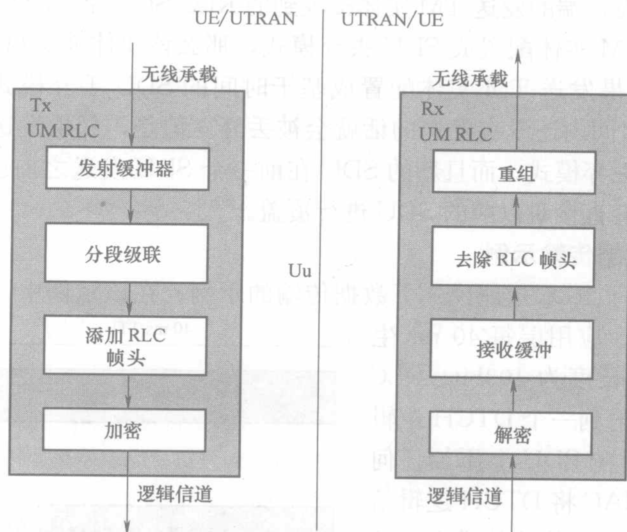


图 5-5　未确认模式下的 RLC 实体

与发送端的 TM RLC 类似，如果从上层接收到的 RLC SDU 比 RLC PDU 长，那么发送 TM RLC 实体就会对 RLC SDU 进行分段，以适应 RLC PDU 的长度。在接收端，所有承载一个 RLC SDU 的 RLC PDU 将进行重组，形成一个上层 SDU。相反，如果 RLC SDU 的长度非常短，那么多个 RLC SDU 就会合并成一个 RLC PDU。如果多个 RLC SDU 合并进 RLC PDU 之后 RLC PDU 内还有空间的话，那么剩下的空间就会被填充比特填充。

序列号检查通常被接收实体在重组过程中使用，它可以检测中断的 SDU。

在 UM 下操作时，如果加密项被激活，那么 RLC 就会对 RLC PDU 进行加密（帧头不加密）——这与 TM 下的操作不同，TM 下 RLC 并不执行加密操作。加密过程是在发送实体中完成的，而解密是在接收实体中完成的。

SDU 丢弃是发送实体中利用定时器来配置的一种功能。如果配置成基于定时器的 SDU 丢弃模式，那么任何在定时器时间结束之后还没有发送出去的 RLC SDU 就会被丢弃。另一方面，如果发送实体中没有配置成基于定时器的 SDU 丢弃模式，那么当发送缓冲区已满时，新的 RLC SDU 就会直接覆盖旧的 RLC SDU。

1. RLC UM PDU 格式

讨论过 RLC 未确认模式之后，接下来我们将主要介绍 RLC UM PDU 格式。

如图 5-6 所示，RLC UM PDU 主要由多个不同的区域构成，包括序列号区、扩展位区、长度指示区、数据区和填充区。

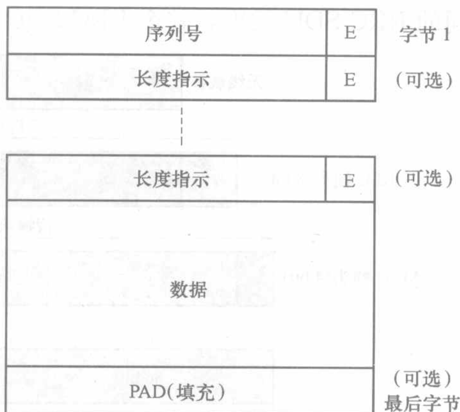


图 5-6　RLC UM 数据 PDU 格式
（引用已经过 ETSI 允许）

序列号区占据了 PDU 第一个字节的前 7 位，通常用来检查丢失的 PDU，并作为加密流程的输入数据。如果发送多个 PDU，就需要使用序列号。

扩展位区是第 1 个字节中的最后一位，通常用来说明下一个字节是数据的起点或者长度指示加上一个扩展位。如果扩展位为“0”，那么下一个字节中就是数据；如果扩展位是“1”，那么下一个字节中就是长度指示加上扩展位。

长度指示区占据了 7～15 位，通常用来说明 PDU 中结束时每个 RLC SDU 的最后一个字节。使用 7 位还是 15 位是由 UM PDU 的最大长度来决定的。如果最长的 UM 数据 PDU 仍然小于或等于 125B，那么就使用 7 位的长度指示；否则，就使用 15 位的长度指示。

数据区是指整个或部分 RLC SDU，其长度为多个字节。多个 RLC SDU 可能会合并成一个 RLC PDU，这样各个 RLC SDU 之间就存在边界，长度指示就是用来指明这些边界的。

当 RLC PDU 的长度比配置的 PDU 长度短时，填充位就会添加到 RLC PDU 的末端，以使 PDU 的长度与配置的 PDU 长度相同。

2. RLC UM 数据传输示例

图 5-7 给出了 RLC UM 数据传输的示例。在该示例中，一个承载了 RRC 信令消息的 SRB 被映射到一个 UM 的逻辑信道上，其中最大的 RLC SDU 长度为 160 位。RLC 负责对信令消息进行分段、合并和填充，使其适应该 RLC SDU 的长度；之后 RLC 将添加一个 8 位的 RLC 帧头，形成一个 168 位的 RLC PDU，这个 168 位的 RLC PDU 就成了一个 MAC SDU。

之后，逻辑信道就会映射到一个 DCH 传输信道上。通常，4 个 SRB 逻辑信道映射到 1 个传输信道中。因此，MAC 会添加一个 4 位的 MAC 帧头，形成一个 172 位的传输信道。在 MAC 帧头中包含了逻辑信道标识符。在该示例中，传输块的长度配置成了 172 位，传输块的 TTI 配置成了 20 ms。

物理层负责将 172bit 的传输块映射到 CCTrCh 上，CCTrCh 中包含了两个

10 ms 的无线帧。因此，整个传输块就在两个 10 ms 无线帧中发送。注意，根据不同的 RRC SDU 长度，整个 RRC SDU 可能需要多个传输块。

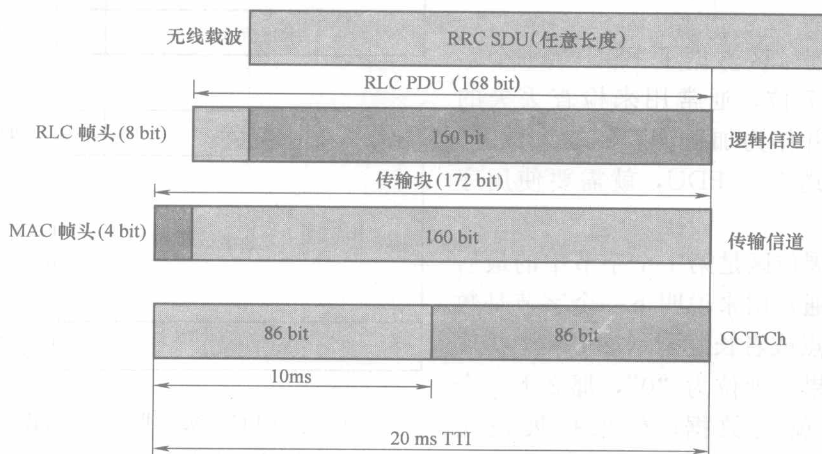


图 5-7 RLC UM 数据传输示例

5.4.3 RLC 确认模式

RLC 确认模式操作比未确认模式更加复杂，该模式支持确认和非确认模式（ACK 和 NACK），并提供可靠的服务（与不可靠服务相反）。

确认模式 RLC 比未确认模式 RLC 执行更多的功能。AM RLC 执行的功能包括分段与重组、合并与填充、纠错、顺序发送、复制检测、流控制、加密、协议纠错与恢复以及 SDU 丢弃，这些功能很多与未确认模式中的基本相同，如分段与重组、合并与填充、加密以及 SDU 丢弃（这些功能在此不再讨论）。其他的功能（包括纠错、顺序发送、复制检测、流控制以及协议纠错与恢复）是 AM 指定的，接下来主要讨论这些内容。

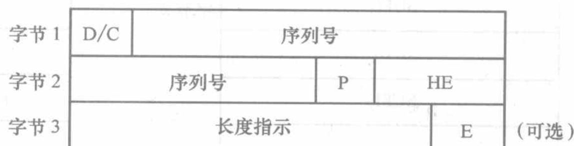
纠错功能要求接收到的错误 PDU 重新发送，发送端可能会轮询接收端，以提醒接收端发送一个确认状态报告；顺序发送功能可以保证 PDU 按照其从上层到发送端 RLC 的顺序来从接收端 RLC 发送到上层中；复制检测功能用来确保 PDU 只发送一次到上层；流控制功能通过配置相应的发送和接收窗口大小来控制专用信道中的数据流；协议纠错检测与恢复功能是指 AM RLC 可能会从协议错误中通过复位来恢复。

1. RLC AM 数据 PDU 格式

图 5-8 给出了确认模式下 RLC AM 数据 PDU 格式的示意图。与 RLC UM 数据 PDU 类似，RLC AM 数据 PDU 中包含了很多区域，如数据/控制区（D/C)、序号区、轮询位区（P)、帧头扩展区（HE)、扩展位区（E)、长度指示区、

数据区、填充区和背负式状态 PDU 区。

其中，数据/控制（D/C）区中包含了 1bit，用来说明 PDU 是数据 PDU 还是控制 PDU。如果 D/C 位为“0”，那么 PDU 就是一个控制 PDU；如果 D/C 位为“1”，那么 PDU 就是一个数据 PDU。



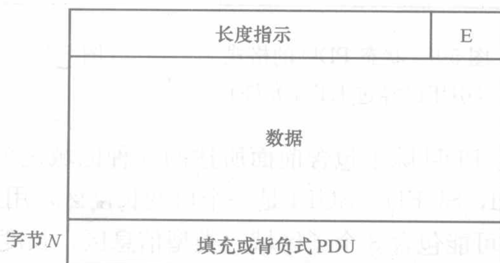


图 5-8　RLC AM 数据 PDU 格式

序号区中包含了一个 12 位的序号，该序号用来检查丢失的 PDU，并在 ACK 或 NACK 中标识 PDU，以及作为加密流程的输入数据。

轮询位用来向接收端请求一个状态报告。如果轮询位为“0”，就说明不存在状态报告请求；如果轮询位为“1”，就说明存在状态报告请求。

帧头扩展区（2bit）和扩展位（1bit）通常用来说明下一个字节是数据的起点，还是长度指示加上扩展位区。在帧头扩展区中，“00”说明下一个字节中包含的是数据；“01”说明下一个字节中包含的是 1 个长度指示和 1 个扩展位；“10”和“11”保留。在扩展位中，“0”说明下一个字节中包含的是数据、背负式状态 PDU 或填充位；“1”说明下一个字节中包含的长度指示加上 1 个扩展位。

长度指示、数据和填充区与 RLC UM 数据 PDU 格式中的相同。但是，在 AM 中，如果 AM PDU 的长度小于或等于 126 位，就使用 7 位的长度指示；否则，就使用 15 位的长度指示。在 AM 中，有一个附加的区域，称为“背负式状态 PDU 区”，如果数据 PDU 中还有可用空间，就在数据 PDU 的末端发送背负式状态 PDU。

RLC AM 控制 PDU 可能是一个状态 PDU，也可能是一个复位 PDU 或一个复位 ACK PDU。图 5-9 中给出了状态 PDU 的格式示意图。状态 PDU 可以从发送端发送到接收端，也可以从接收端发送到发送端。图 5-10 详细描述了复位 PDU 和复位 ACK PDU 的格式。复位 PDU 只能从发送端发送到接收端，而复位 ACK PDU 只能从接收端发送到发送端。这 3 种 PDU 中包含以下共同的区域：数据/控制区、PDU 类型区和 PAD 区。在控制 PDU 中，D/C 位为“0”，PDU 类型区中包含了 3 个位。其中，“000”说明 PDU 是一个状态 PDU，“001”说明 PDU 是一个复位 PDU；“010”说明 PDU 是一个复位 ACK PDU。

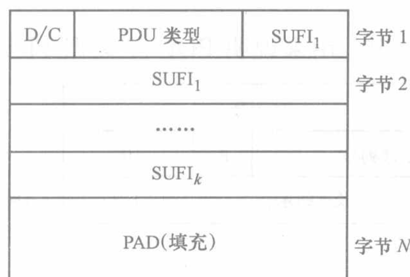


图 5-9 状态 PDU 的格式
(引用已经过 ETSI 允许)

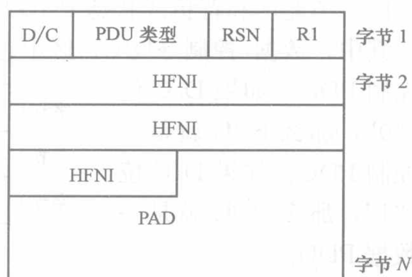


图 5-10 复位 PDU 和复位 ACK PDU 的格式
(引用已经过 ETSI 允许)

状态 PDU 除了包含前面所述的 3 种区域之外，还包含了一个超级区（SUper FIeld，SUFI）。SUFI 是一个可变长度区，用来向发送端反馈接收端的状态。SUFI 中可能包含 3 个子区域：类型信息区、长度信息区和数值区。

类型子区域的长度是非零的，但是其他子区域的长度可以为零。类型子区域指明了各种状态信息，包括没有 NO_MORE（更多的数据）、WINDOW（窗口大小）、ACK（确认）、未正确接收的 LIST（序号列表）、BITMAP（序号位图）和 MRW（转向接收窗口的请求）。

子区域长度的大小和存在与否与超级区的类型有关，而且由每个超级区分别指定。

在复位 PDU 和复位 ACK PDU 中，包含了复位序号（Reset Sequence Number，RSN）、保留区（R1）和超级帧编号指示（Hyper Frame Number Indicator，HFNI）区。

其中，RSN 长度为 1 位，通常用来说明发送复位 PDU 的序号。如果复位 PDU 就是原始复位 PDU 的重发 PDU，那么其 RSN 的值就与原始复位 PDU 的 RSN 相同；否则，复位 PDU 就拥有下一个 RSN 值。原始 RSN 区中的值为“0”，当 RLC 重新建立时，该区域的值就会重新初始化。但是，当 RLC 复位时，该区域的值不会重新初始化。

保留区 R1 中通常为“000”；HFNI 占用 20 位，通常用来说明对等实体的超级帧编号（Hyper Frame Number，HFN）。利用 HFNI，UE 和 UTRAN 中的 HFN 可以实现同步。

2. RLC AM 数据传输示例

图 5-11 给出了一个 RLC AM 数据传输的示例。图 5-11 中，无线承载是一个分组交换 RAB，该 RAB 承载着用户数据，并映射到一个 AM 逻辑信道上，该信道的最大 RLC SDU 长度为 400 位；之后，RLC 再添加一个 16 位的帧头，形成

一个 416 位的 PDU。为了适应该 PDU 的大小，RLC 必须对数据进行分段、组合以及填充。如果需要发送一个状态 PDU，该状态 PDU 将会附着在数据的末端，前提是有足够的空间。很明显，在该例子中为了给附着的状态 PDU 提供空间，RLC 中 SDU 的长度必须小于 400 位。

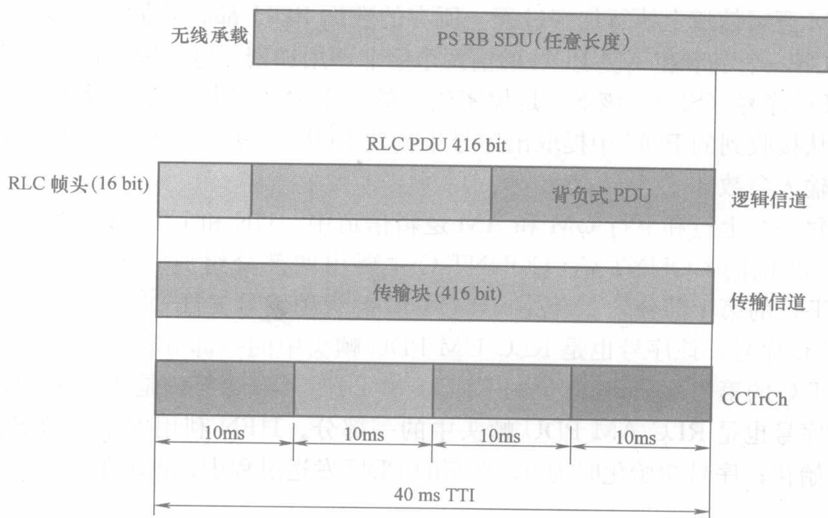


图 5-11　RLC AM 数据传输示例

图 5-11 中，逻辑信道（即 416 位的 RLC PDU）映射到一个 DCH 传输信道上。在该例子中，不存在 MAC 帧头，因为逻辑信道与传输信道之间的映射是一对一的，而且 DCH 是专用的传输信道。传输块的长度与 RLC PDU 的长度相同，传输块的 TTI 配置成 40 ms。

物理层负责将 416 位的传输块映射到一个 CCTrCh 信道上，该 CCTrCh 信道中包含了 4 个 10 ms 的无线帧，整个传输块就在这 4 个 10 ms 无线帧中传输。根据分组交换无线承载 SDU 的长度，整个无线承载可能需要多个传输块。

5.5　RLC 层加密

如同第 4 章中提到的，加密是一个用来保护所有用户数据和信令，并防止被非授权实体窃听的安全措施。在发送端，一种称为“加密算法 f8”的加密方法可以通过一个密钥流块来对纯文本块进行加密，该密钥流块是利用纯文本和密钥流中的逐位二进制附属比特来实现的。该加密过程将会生成一个加密文本块。在接收端，加密文本块通过相同的密钥流块来解密（即利用逐位二进制附属比特来实现），并覆盖原始纯文本。

加密算法 f8 的输入参数包括加密密钥、一个与时间有关的输入 COUNT-C、承载标识、传输方向和所需的密钥流长度。关于这些参数更详细的内容，感兴趣的读者可以阅读参考文献 [3]。

在发送端，RLC 负责在 UM 和 AM 逻辑信道上执行加密过程，而 MAC 负责在 TM 逻辑信道上执行加密过程。所有的数据 PDU 都必须加密。但是，UM PDU 的第一个字节和 AM PDU 的前两个字节不用加密，这是因为这些字节中包含了 RLC 序号（SN），该 SN 是加密流程的一个输入参数。在接收端，接收实体必须从接收到的 PDU 中提取出序号来构建 COUNT-C，该 COUNT-C 是解密过程的输入参数。

在每一个上行和下行 UM 和 AM 逻辑信道中，UE 和 UTRAN 之间都保持了一个 32 位的 COUNT-C。COUNT-C 主要由两部分组成。在 RLC UM 中，COUNT-C 的第 1 部分是 25 位的 RLC UM 超级帧编号（HFN），第 2 部分是 7 位的 RLC 序号，该序号也是 RLC UM PDU 帧头中的一部分。在 RLC AM 中，COUNT-C 的第 1 部分是 20 位的 RLC UM HFN，第 2 部分是 12 位的 RLC 序号，该序号也是 RLC AM PDU 帧头中的一部分。HFN 利用安全参数 START 进行初始化；序号初始化时为 0，在新的 PDU 发送过程中逐渐增加。

5.6 RLC 层可配置参数

很多用来控制 RLC 实体功能的 RLC 参数都是可以配置的，这些 RLC 实体由建立好的或配置好的无线载波使用。典型的例子就是 SDU 丢弃参数和很多 AM 参数，接下来将详细介绍这些可配置参数。

1. SDU 丢弃参数

SDU 丢弃参数决定了 RLC 如何处理那些在一定时间段内或一定次数的发送机会内无法成功发送的 SDU。发送失败的原因可能是由于无线链路条件太差，或者低优先级信道上的数据可能没有发送的机会，因为高优先级的信道占用了所有的可用带宽。SDU 丢弃操作的类型包括基于定时器的丢弃、最大期限后的丢弃、无丢弃或者未配置丢弃。

基于定时器的丢弃是所有 RLC 模式都支持的类型。在基于定时器的丢弃类型中，定时器是在从高层中接收到一个 SDU 时开始计时的，如果在定时器截止之前，该 SDU 还没有成功发送出去，那么就会丢弃该 SDU。在确认模式中，具有明确信令的基于定时器的丢弃操作通常用来在两个对等的实体之间实现 SDU 丢弃功能，并传输丢弃信息。其中，发送端负责在状态 PDU 的 SUFI 类型子区域中发送一个移动接收窗口（Move Receiving Window，MRW）给接收端；根据 MRW SUFI，接收端会丢弃承载了该 SDU 的确认模式数据（Acknowledged

Mode Data，AMD）PDU，并更新接收窗口。在透明模式和未确认模式中，接收端无需明确的信令就可以直接丢弃 SDU。

最大期限后的丢弃和无丢弃操作只适用于确认模式 RLC。在最大期限后的丢弃中，每次 SDU 的传输意图都会被计数，当超过了重传最大期限次数之后，该 SDU 就会被丢弃。如同基于时间的丢弃过程一样，在最大期限后的丢弃过程中，发送端利用明确信令来通知接收端。在无丢弃中，如果 AMD PDU 的调度传输次数达到了最大期限次数，发送端就会初始化 RLC 复位流程。

未配置丢弃类型既适用 TM RLC，也适用 UM RLC。在 TM RLC 中，根据从上层接收到的新 SDU，发送端将丢弃所有还没有发送到低层中的 SDU（这些 SDU 是在前面的 TTI 内从上层接收到的），并在第一个可能的 TTI 内发送新的 SDU。在 UM RLC 中，发送端的 SDU 不会被丢弃，除非传输缓冲区已满。当 UM RLC 实体中的缓冲区已满时，如果那些可能会被丢弃的 SDU 的分段已经被发送到低层中，那么发送端可能无需明确信令就会丢弃该 SDU。如果那些可能会被丢弃的 SDU 的分段还没有发送到低层中，那么发送端就会将该 SDU 从缓冲区中清除。

2. AM 可配置参数

RLC AM 中包含了很多可配置参数，其中有些是可选的或默认不选的，这些可配置参数通常用于流控制、错误恢复和顺序发送等操作。

与流控制相关的参数包括发送窗口大小和接收窗口大小，这两个参数分别说明了等待确认的最大发送 RLC PDU 的数量和可以接收的最大 RLC PDU 数量。

与错误恢复相关的参数包括最大复位次数和复位定时器，这两个参数分别说明了无法恢复的错误被确认之前，复位 PDU 的最大发送次数和复位 PDU 的各次重发之间的时间间隔。

顺序发送参数用来说明在接收端中从上层接收到的数据，是否与它在发送端中从 RLC 向上层发送时的顺序一致。

在接收端一侧，接收端会向发送端的 ACK 或 NACK 发送状态报告，状态报告可以是一个独立的状态 PDU 或一个背负式状态 PDU 伴随一个数据 PDU。无论丢失的 PDU 是否被检测到或者被发送端选中时，状态报告都可以周期性地发送。与状态报告相关的参数包括周期状态定时器、状态禁止定时器、丢失 PDU 指示和评估 PDU 计数器（Estimated PDU Counter，EPC）机制。其中，周期状态定时器负责控制周期，在该周期内接收端负责发送一个状态报告；状态禁止定时器用来说明各状态报告之间发送的最小时间间隔；丢失 PDU 指示用来决定 RLC 是否应该在每次 PDU 丢失时进行报告；评估 PDU 计数器机制通常用来最小化状态报告的重传延迟。

在发送端一侧，RLC AM 可以配置成请求接收端发送状态 PDU 的模式。换

句话说就是，发送端可能会进行轮询来向接收端请求一个状态报告。发送端通过将数据PDU中RLC帧头的轮询位设置为“1”来实现轮询。当定时器截止、或者没有新的PDU需要发送、或者没有PDU需要重发、或者PDU或SDU计数器截止、或者达到一定的发送窗口大小时，就可以触发轮询操作。

5.7 小结

RLC是L2层中的一个子层，负责为RRC和应用层提供服务。RLC支持3种不同的数据传输模式：透明模式、未确认模式和确认模式。RLC的功能包括传输用户数据和信令、对上层PDU进行分段与重组、合并、填充、纠错、顺序发送，以及复制检测、流控制、序号检查、协议纠错与恢复、加密和SDU丢弃等。

SDU是协议中各层和各子层之间进行数据传输的基本数据单元，而PDU则是UTRAN与UE的各对等层之间进行数据交换的基本数据单元。

每个无线承载都会通过一个RLC实体映射到一个逻辑信道上，这个过程可能在TM、UM或AM模式中完成。RRC负责分配RLC实体并配置数据传输模式。在TM操作中，PDU的发送过程与RLC无关；在UM模式中，RLC会为每个PDU添加一个帧头，该帧头中承载了分段、合并和序号信息；在AM模式中，RLC实现的功能比UM操作中更多。

TM、UM和AM模式中的数据PDU格式是各不相同的。TM PDU中只包含数据，而UM PDU和AM PDU中包含了帧头和数据。在AM模式中，除了数据PDU外，还存在状态PDU、复位PDU和复位ACK PDU。其中，状态PDU既可以从发送端发送到接收端，也可以从接收端发送到发送端；复位PDU只能从发送端发送到接收端；复位ACK PDU只能从接收端发送到发送端。

参考文献

[1] 3GPP TS 25.301，v5.5.0. Radio interface protocol architecture，Release 5.
[2] 3GPP TS 25.322，v5.7.0. Radio link control protocol specification，Release 5.
[3] 3GPP TS 33.102，v5.3.0. 3G security；security architecture，Release 5.

第 6 章　MAC 层

媒体接入控制（MAC）层是 L2 中的子层，负责为 RLC 层提供服务，并将逻辑信道映射到传输信道上。MAC 层的功能包括数据流优先级分类、RLC PDU 复用与分离（多个逻辑信道映射到一个传输信道上时）、选择传输信道的传输格式。当专用逻辑信道映射到公共传输信道上时，MAC 负责执行 UE 识别功能；同时 MAC 还负责实现其他功能，如流量测量、RACH 流程检测和 RLC TM 数据 PDU 加密等。

本章将主要介绍 MAC 层的功能和结构，详细阐述 MAC 帧头、公共信道和专用信道中的帧头结构、传输格式合并（Transport Format Combination，TFC）选择、MAC 层如何执行流量大小测量、MAC 层加密过程、MAC 如何控制对 RACH 的接入以及 MAC 可配置参数等内容。

6.1　MAC 层结构

MAC 层的主要由 4 个部分组成：广播部分（MAC-b）、专用部分（MAC-d）、公共部分（MAC-c/sh）和高速部分（MAC-hs），图 6-1 给出了 MAC 层的结构。其中，MAC-b 是一个 MAC 实体，负责处理广播信道（BCH）；MAC-c/sh 也是一个 MAC 实体，负责处理 PCH、FACH、RACH、上行 CPCH 和

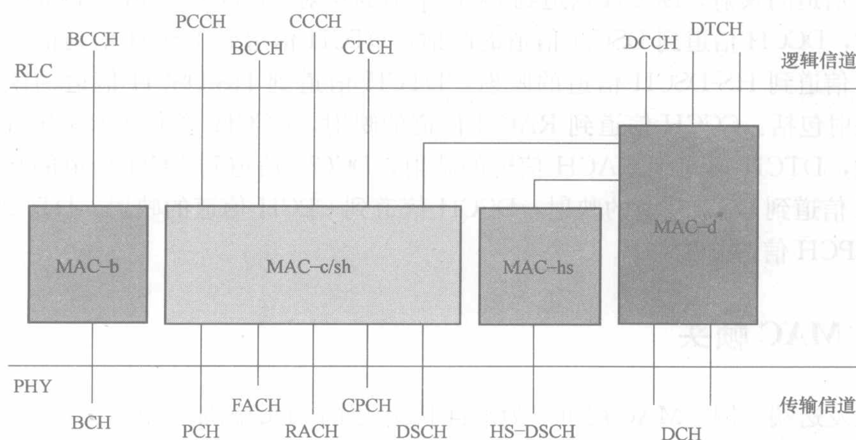


图 6-1　MAC 层结构（引用已经过 ETSI 允许）

DSCH信道；MAC-d也是一个MAC实体，负责处理DCH信道；MAC-hs也是一个MAC实体，负责处理高速下行分组接入（HSDPA）中的高速下行共享信道（HS-DSCH）。关于HSDPA的详细内容，将在第11章中介绍。

6.2 逻辑信道到传输信道的映射

第2章中已经介绍过了关于信道映射的内容，为方便起见，图6-2再次给出了逻辑信道到传输信道的映射示意图。

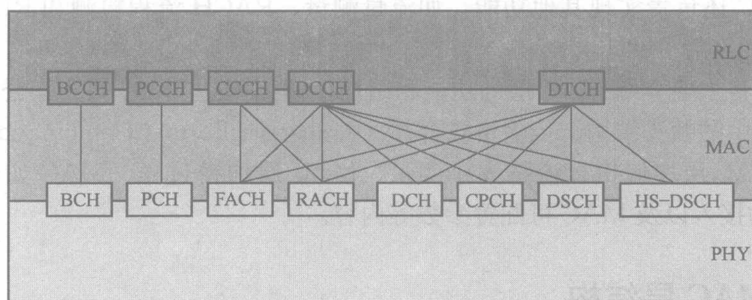


图6-2 逻辑信道到传输信道的映射示意图

逻辑信道到传输信道的映射包括下行映射和上行映射。其中，下行映射包括：BCCH信道到BCH信道的映射，PCCH信道到PCH信道的映射，CCCH信道到FACH信道的映射，DCCH信道到FACH信道的映射，DTCH信道到FACH信道的映射，DCCH信道到DCH信道的映射，DTCH信道到DCH信道的映射，DCCH信道到DSCH信道的映射，DTCH信道到DSCH信道的映射，DCCH信道到HS-DSCH信道的映射，DTCH信道到HS-DSCH信道的映射；上行映射包括：CCCH信道到RACH信道的映射，DCCH信道到RACH信道的映射，DTCH信道到RACH信道的映射，DCCH信道到DCH信道的映射，DTCH信道到DCH信道的映射，DCCH信道到CPCH信道的映射，DTCH信道到CPCH信道的映射。

6.3 MAC帧头

在发送端一侧，MAC层可以为来自RLC层的SDU添加一个帧头，SDU在添加帧头之后就变成了MAC PDU。根据信道映射类型，MAC帧头中可以包含一个或多个区：目标信道类型区（TCTF）、C/T区、UE-Id区和UE-Id类型区。图6-3给出了一个非HS-DSCH MAC PDU的例子，该PDU中包含了MAC帧

头和MAC SDU的所有4个区域。在HS-DSCH中，包含了MAC-d PDU和HS-DSCH MAC PDU。其中，MAC-d PDU格式与非HS-DSCH MAC PDU格式相同。一个HS-DSCH MAC PDU由一个MAC帧头和一个或多个MAC-hs SDU组成，其中，一个MAC-hs SDU相当于一个MAC-d PDU。关于个MAC-hs帧头更详细的内容，感兴趣的读者可以阅读参考文献[2]。

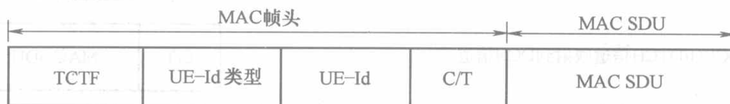


图 6-3 MAC PDU（非 HS-DSCH）（引用已经过 ETSI 允许）

TCTF通常在不同类型的逻辑信道映射到单个传输信道上的情况下使用。换句话说就是，TCTF是FACH传输信道和RACH传输信道上逻辑信道的标识符。例如，CCCH、CTCH、DCCH和DTCH逻辑信道可以映射到FACH和RACH传输信道上。在这些映射中，MAC帧头的TCTF区通常用来说明逻辑信道的类型，MAC层通过该逻辑信道获取SDU。这样，接收端的MAC层就可以将SDU路由到正确的逻辑信道上。FACH信道的TCTF区长度为2位或8位，具体大小由两个最高有效位决定：如果两个最高有效位为“01”或“10”，那么TCTF区的长度就为8位；否则，TCTF区的长度就为“00”或“11”。RACH的TCTF区长度为2位。

C/T区通常在多个相同类型的逻辑信道映射到单个传输信道上的情况下使用。C/T区用来标识承载在相同传输信道（非HS-DSCH）或相同MAC-d流（HS-DSCH）上的逻辑信道，典型的例子就是4个DCCH信道映射到一个DCH信道。在这种情况下，帧头中的C/T区通常用来说明发送该SDU的逻辑信道的信道编号。公共信道和专用信道中的C/T区大小都为4位。

UE-Id区通常用来标识公共传输信道上的UE。UE-Id区中包含一个RNTI，在第2章中我们提到过，RNTI是在RRC连接建立时指定的。在接收端的UE中，RNTI用来标识对应FACH信道上的SDU；在发送端的UE中，RNTI用来标识发送到UTRAN中RACH信道上的SDU。当DCCH信道映射到FACH信道时，U-RNTI和C-RNTI都可以在DCCH信道的MAC帧头中使用。其中，U-RNTI从不在上行中使用。当DCCH信道和DTCH信道映射到RACH信道时，C-RNTI在MAC帧头中使用。当映射到公共传输信道时（除了映射到DSCH传输信道上以外），C-RNTI也可以在下行DTCH信道中使用。当映射到DSCH传输信道时，DSCH-RNTI通常在下行DTCH和DCCH中信道使用。

6.3.1 专用逻辑信道的MAC帧头

如图6-4所示，根据映射配置，总共有5种类型的MAC帧头用于专用信道。

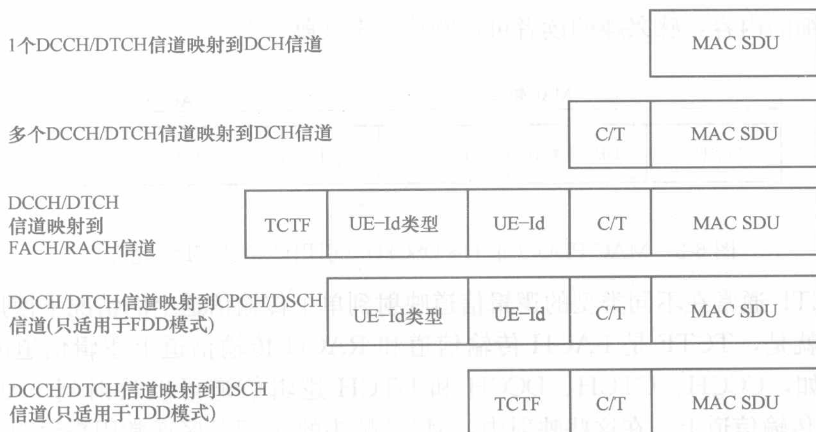


图6-4 DTCH和DCCH信道中的MAC PDU格式（引用已经过ETSI允许）

第1种配置就是一个DCCH信道或DTCH信道映射到一个DCH信道。在这种配置中，只有一个UE正在使用信道，不需要UE-Id区或UE-Id类型区。同样，逻辑信道也是一对一地映射到传输信道，不需要TCTF区或C/T区，因此在这种配置中不需要帧头。

第2种配置就是多个DCCH信道或多个DTCH信道映射到一个DCH信道上。在这种配置中，就需要一个C/T区来标识DCCH信道或DTCH信道（SDU的来源）。因为只有一个UE使用信道，而且只涉及到一种类型的逻辑信道，所以不需要UE-Id区或UE-Id类型区。因此，这种配置的MAC帧头中只包含C/T区。

第3种配置就是多个DCCH信道和多个DTCH信道映射到FACH信道或RACH信道。在这种配置中，就需要UE-Id和UE-Id类型区来实现寻址，因为同时有多个UE在公共RACH/FACH信道上发射和接收，同时还需要TCTF区来标识逻辑信道类型（DCCH或DTCH）。因此在这种配置中，就需要MAC帧头的所有4个区域。

第4种配置就是DCCH或DTCH信道映射到DSCH（仅适用于FDD）或CPCH信道上，使用的UE-Id类型是DSCH-RNTI（映射到DSCH上）和C-RNTI（映射到CPCH上）。

第5种即最后一种配置就是DCCH或DTCH信道映射到DSCH信道上，该

配置只适用于 TDD 模式下。

专用逻辑信道映射示例

图 6-5 给出了将 3 个信令 DCCH 信道映射到 1 个 DCH 信道上的典型例子，其中 TTI 为 20 ms。3 个 SRB 配置如下：RRC UM 信令的 SRB1 优先级为 1（DCCH 1），RRC AM 信令的 SRB2 优先级为 2（DCCH 2），NAS 信令的 SRB3 优先级为 3（DCCH 3）。

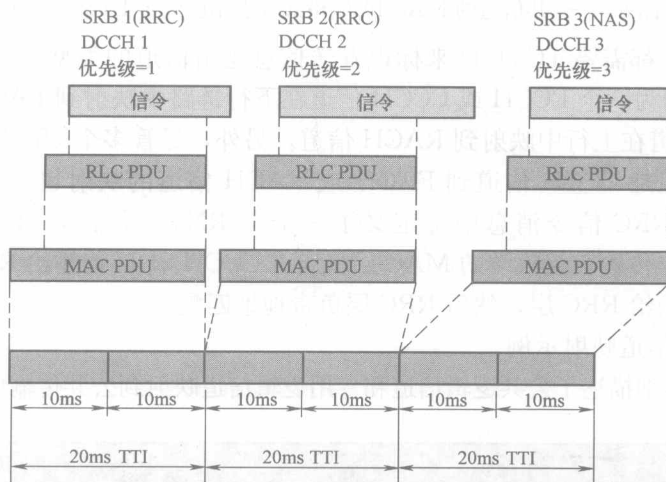


图 6-5　独立 SRB 的专用信道映射示例

下面将主要介绍详细的映射过程。首先，RLC 负责对信令 SDU 进行分段、合并和填充，以适应配置 RLC PDU 的长度；之后，在每个 TTI 内（20 ms），MAC 负责检查 RLC，看 DCCH 信道是否需要发送数据。如果多个 DCCH 信道需要发送数据，MAC 就会根据配置的逻辑信道优先权来决定 RLC PDU 的发送顺序；然后，MAC 添加一个帧头，该帧头中包含了 C/T 区，用来标识发送数据的逻辑信道；最后，物理层将传输块映射到 CCTrCh 上，该 CCTrCh 信道中包含了两个 10 ms 的无线帧。

6.3.2　公共传输信道的 MAC 帧头

公共传输信道的 MAC 帧头非常简单，根据映射配置，可以需要也可以不需要 MAC 帧头。图 6-6 给出了两种不同的情形。

无需 MAC 帧头的情形是指 BCCH 信道映射到 BCH 信道和 PCCH 信道映射到 PCH 信道。之所以不需要 MAC 帧头，是因为这些都是广播信道，其中承载着所有 UE 的信令信息，而且映射都是一对一的。

对于 BCCH 信道到 FACH 信道的映射以及 CCCH 信道到 FACH 或 RACH

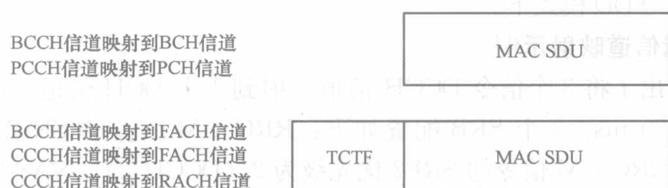


图 6-6　公共信道的 MAC PDU 格式（引用已经过 ETSI 允许）

信道的映射，都需要 TCTF 区来标识发送信息逻辑信道的类型。在帧头中无需 C/T，这是因为一个 BCCH 或 CCCH 信道在下行链路中映射到 FACH 信道，一个 CCCH 信道在上行中映射到 RACH 信道。另外，尽管多个 UE 共享了相同的传输信道，但是 CCCH 信道到 FACH 或 RACH 信道的映射也不需要地址区，因为所有的 RRC 信令消息中都定义了一个 U-RNTI 寻址区，该信令消息在 CCCH 信道上传输。接收端的 MAC 层将所有 CCCH SDU 传输给 RLC 层，RLC 再将它们传输给 RRC 层，然后 RRC 层负责地址匹配。

1. 公共信道映射示例

图 6-7 详细描述了公共逻辑信道和专用逻辑信道映射到公共传输信道的过程。

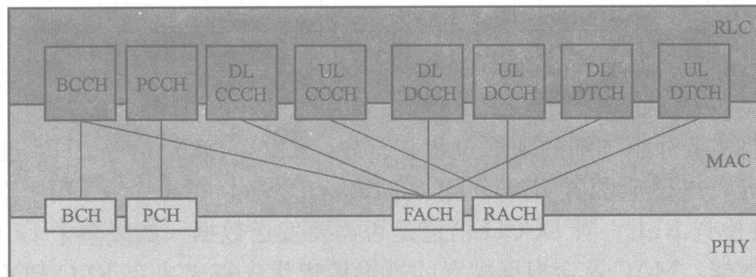


图 6-7　公共逻辑信道和专用逻辑信道映射到公共传输信道

该示例中的映射包括 BCCH 信道到 BCH 信道的映射、BCCH 信道到 FACH 信道的映射、PCCH 信道到 PCH 的映射、上行 CCCH 信道到 RACH 信道的映射、下行 CCCH 信道到 FACH 信道的映射、上行 DTCH 信道到 RACH 信道的映射和下行 DTCH 信道到 FACH 信道的映射。

BCCH 信道到 BCH 信道的映射过程通常在 UTRAN 中用来向 UE 广播系统信息，而 BCCH 信道到 FACH 信道的映射过程通常在 UTRAN 通过 BCCH 信道发送系统信息变化消息中使用；PCCH 信道始终映射到 PCH 信道，即寻呼信道。

在上行链路中，当 UE 试图接入到网络时，CCCH 信道映射到 RACH 信道

上。在UE侧，CCCH信道上的信令消息映射到RACH信道上；在UTRAN侧，RACH信道上的信令消息映射到CCCH上，因为该信道被多个UE共享。在下行链路中，当UTRAN响应UE的接入请求时，CCCH信道映射到FACH信道上。

当UE处于Cell_FACH状态时，UE会分配一个专用逻辑控制信道(DCCH)，用来传输信令消息。在上行链路中，DCCH信道映射到RACH信道中；在下行链路中，DCCH信道映射到FACH信道中。

当UE处于Cell_FACH状态时，专用逻辑流量信道（DTCH）也会被分配给UE，用来传输用户数据。例如，一个PS呼叫可能工作于Cell_FACH状态，因为分组数据业务的突发性质可以容忍公共信道的低吞吐率。上行DTCH信道映射到RACH信道上，而下行DTCH信道映射到FACH信道上。

6.4 传输格式合并选择

MAC层的一项重要功能就是传输格式合并（TFC）选择，TFC选择中包含了传输块大小选择和传输块大小有效合并。在每个传输时间间隔内，物理层都会向MAC层请求数据，MAC层会检查RLC层中是否有数据需要发送，并确定发送到物理层的数据量。需要发送的数据量有可能会超过物理层的承载能力。另外，逻辑信道上PDU的大小可能会随时间不断变化。因此，MAC层必须选择一个有效的TFC，以便使物理信道资源的利用率最大化。

关于TFC的详细讨论，将在第7章中予以介绍，接下来将主要讨论MAC层如何将数据从RLC层传输到物理层。

假设物理层信道的配置是承载了不同数据量的无线帧，为了实现一定的数据速率，MAC层将会根据逻辑信道上的有效数据来选择TFC。一旦MAC层选定了TFC，该TFC将决定物理信道中无线帧的数据速率。由于信令数据是突发的，因此在逻辑信道上某一时刻可能会没有数据需要发送，继而在多个逻辑信道上就没有数据发送。如果在多个逻辑信道上同时有数据需要发送，那么MAC层将利用逻辑信道优先级来决定哪一个数据先发送。另外，不同帧中需要发送的数据量也可能会不同。在这种情况下，对于数据量更大的帧，MAC层可以选择一个更高的速率来发送。如果同时需要发送信令和用户数据，那么MAC层将会选择一个TFC，以便使最高优先级信道上的数据发送速率最大化。

6.5 流量测量

流量测量是在PS呼叫过程中UTRAN要求UE完成的一项任务。UTRAN

通过BCCH信道（映射到BCH信道）在SIB类型11和SIB类型12中发送流量测量信息单元，并通过DCCH信道（映射到FACH或DCH信道）发送测量控制信息单元。流量是在UE MAC层中测量的，测量结果将报告给UTRAN。通常，UTRAN可以对UE进行配置来完成测量并报告上行有效流量；之后，UTRAN将利用测量报告来决定何时将UE从一个连接模式状态转换到另一个连接模式状态（如从Cell _ DCH状态转化到Cell _ FACH状态）。UTRAN也可以利用测量报告来确定最大DCH数据速率，并协商资源分配。

6.6 MAC层加密

在第5章中我们提到过，RLC层不能实现TM专用逻辑信道的加密功能，该加密功能是由MAC层来完成的。加密过程是在MAC-d实体中完成的，MAC帧头不加密。当一个专用逻辑信道映射到一个公共传输信道上时，MAC帧头中会包含一个UE-Id地址区。所有接收到MAC PDU的UE都可以读取UE-Id区，但只有该PDU地址对应的UE才可以解密PDU的剩下内容。

除了32位的COUNT-C不同之外，MAC层中的加密和解密过程与RLC层中基本相同。在TM专用逻辑信道的MAC层加密过程中，上行和下行链路方向中的所有无线承载会使用一个公共的COUNT-C，并在UTRAN和UE之间一直保持。具体来说就是，相同的COUNT-C由移动设备的MAC-d实体和服务RNC的MAC-d实体分别独立保持。COUNT-C由两部分组成：一个长序号和一个短序号。其中，长序号是一个24位的超级帧编号（HFN），短序号是一个8位的连接帧编号（Connection Frame Number，CFN）。HFN初始化为加密START值，并且每当CFN完成循环时增加一次；而CFN的初始化值为加密过程触发时的CFN值，并随无线帧的数量逐渐增加。关于MAC层加密更详细的内容，感兴趣的读者可以阅读参考文献[4]。

6.7 MAC RACH功能

MAC RACH功能包括接入业务类别（Access Service Class，ASC）的定义和RACH传输控制。MAC层负责选定接入业务类别，并计算持续延迟，然后通过请求物理层执行一个前导倾斜循环来启动一个RACH传输。在前导倾斜循环中，如果UE在AICH信道上接收到一个确认消息，那么UE MAC层会请求物理层发送一个RACH消息；如果UE接收到一个未确认消息或拒绝确认消息，那么UE MAC层会执行另一个前导倾斜循环（如果SIB类型5或SIB类型6中配置的最大前导倾斜循环次数还没有达到）。另外，当接收到拒绝确认消息时，

UE MAC 层将会在执行另一个前导倾斜循环之前计算一个随机的备份间隔。接下来将详细阐述 MAC RACH 流程。

6.7.1　MAC RACH 流程

图 6-8 给出了 MAC RACH 的流程示意图。在 UE 一侧，MAC 层负责执行以下步骤来控制 RACH 信道上的传输操作。

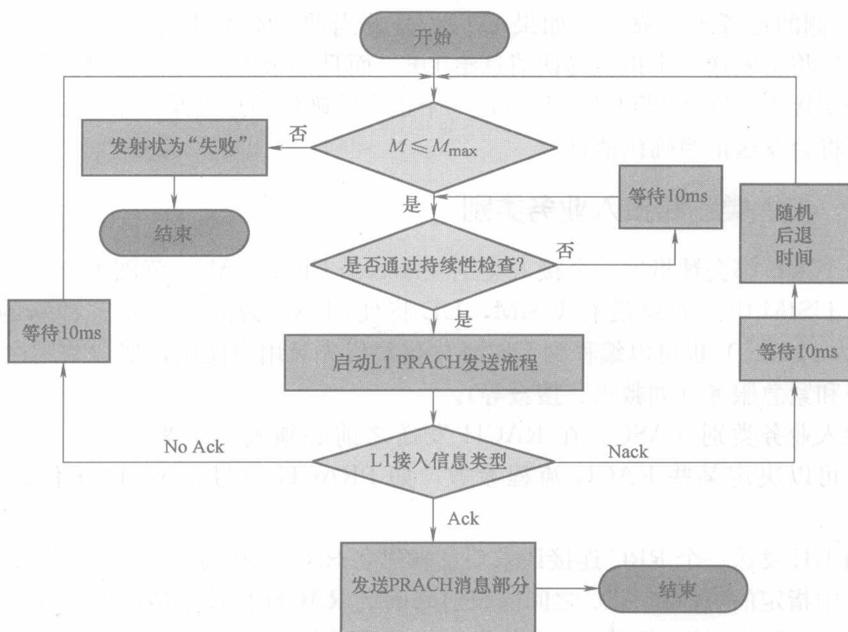


图 6-8　MAC RACH 流程示意图（引用已经过 ETSI 允许）

1）延迟检查。当 UE 在 RACH 上发送数据之前，UE MAC 层将会执行一个延迟检查。延迟检查会生成一个 0～1 之间的随机变量，并将随机变量与接入业务类别对应的延迟数值进行比较。如果延迟检查通过，那么 MAC 层将会通过请求物理层执行 PRACH 传输流程（前导倾斜循环）来启动一个 RACH 传输。

2）物理层 PRACH 传输流程。在该步骤中，UE 会发送一个功率等级不断增加的前导，直到 UE 在 AICH 信道上接收到一个正确的或拒绝的要求指示。

3）发送 PRACH 消息或检查最大前导倾斜循环次数。在前导倾斜循环中，如果 UE 在 AICH 信道上接收到一个确认消息，那么 UE MAC 层将请求物理层发送 RACH 消息；如果 UE 没有接收到确认消息，UE MAC 将会在进行最大前导倾斜循环次数检查之前等待 10 ms，之后 UE 将会检查前导倾斜循环次数是否

达到 SIB 类型 5 和 SIB 类型 6 中配置的最大前导循环次数 M_{max}。如果在 AICH 信道上接收到一个拒绝确认消息，那么 UE MAC 将会等待 10 ms，之后 UE 将在最大前导循环检查之前先计算一个随机备份间隔。在达到最大前导倾斜循环次数时，无论是没有接收到确认消息还是接收到拒绝确认，UE MAC 都将确定传输是不成功的，并将停止接入操作；否则，UE 将返回到延迟检查并继续 MAC RACH 流程。

接收到拒绝确认消息的原因有很多，如射频条件太差、UE 功率不足或 UTRAN 一侧的资源不可靠等。如果 UTRAN 的当前 PRACH 资源不可用，那么 UTRAN 将会发送一个拒绝确认消息给 UE。而且如果 UTRAN 检测到很多 UE 同时需要接入，那么 UTRAN 只发送一个正确的确认消息给某一个 UE，而向其他 UE 将会发送拒绝确认消息。

6.7.2　接入类别和接入业务类别

每个 UE 都会被指定一个接入类别（Access Class，AC，范围为 0～9），并存储在 USIM 中。如果没有 USIM，UE 将使用 AC 为 0 来表示。特殊的 AC（范围为 11～15）也可以编程到 USIM 中供高优先级用户使用，如公共用途、安全业务和紧急服务（如救火、搜救等）。

接入业务类别（ASC）在 RACH 发送之前必须确定下来，ASC（范围为 0～7）可以决定某些 RACH 流程参数，如 PRACH 符号、AICH 子信道和延迟量。

当 UE 发送一个 RRC 连接请求消息来建立 RRC 连接时，UE RRC 通过 SIB 类型 5 中指定的 AC 和 ASC 之间的映射来确定 RACH 传输中使用的 ASC。

如果 RRC 连接已经建立，MAC 将利用逻辑信道优先级来确定所有接下来的 RACH 传输中使用的 ASC（此时 UE 处于 Cell _ FACH 状态）。逻辑信道优先级在无线承载建立时指定，消息的 ASC 由发送消息的逻辑信道优先级来决定。优先级越高的信道，其 ASC 越低（ASC 为 0 对应最高优先级，ASC 为 7 对应最低优先级）。ASC 为 0 通常用于紧急呼叫情况或者其他相当于该优先级的情形下。

6.7.3　延迟检查

延迟检查是 MAC RACH 流程中的第 1 步。每一个 ASC 都对应一个延迟量。与每个 ASC 相关的延迟量 P_i 可以通过动态延迟等级（$N=1, \cdots, 8$）从公式（6-1）中得到（动态延迟等级 N 在 SIB 类型 7 中广播，延迟比例因子 s_i 在 SIB 类型 5 和 SIB 类型 6 中广播）

$$P_i = s_i P(N) = 2^{-(N-1)} s_i \qquad (6\text{-}1)$$

式中，i 是一个虚设变数，范围为 2～7。对于 ASC0，相关的延迟量为 $P_0=1$；对于 ASC1，相关的延迟量为 $P_1=P(N)$；对于 ASC2～ASC7，相关的延迟量由式（6-1）给定，其中 $i=2$，…，7。ASC 越低，相关的延迟量就越高。

图 6-9 给出了延迟检查的流程示意图。在每次物理层 PRACH 前导倾斜循环之前，MAC 层都会执行延迟检查。延迟检查过程包括选定一个 0～1 之间的随机数，然后对随机数与延迟量进行比较。如果随机数小于延迟量，那么物理层将启动一个前导倾斜循环；否则，MAC 层将等待 10 ms，并执行另一个延迟检查。这个过程不断重复，直到延迟检查通过。

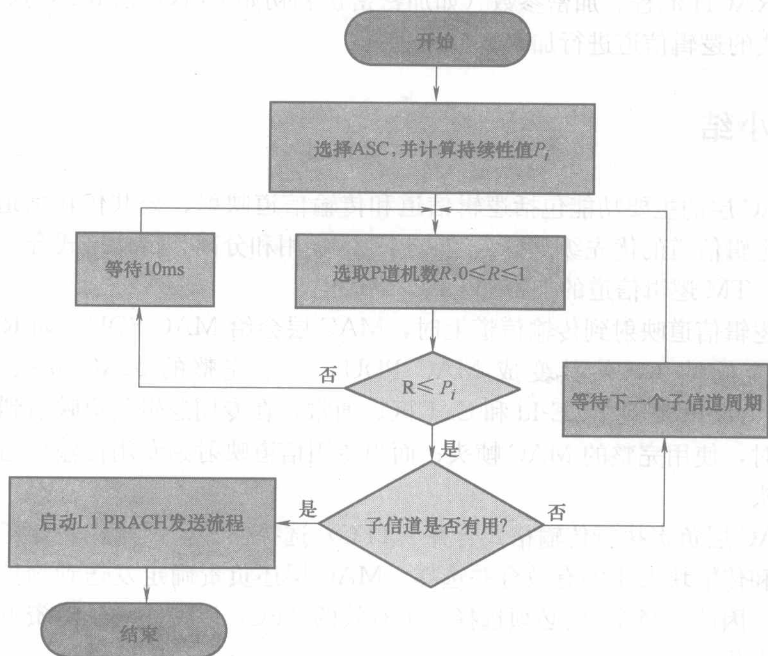


图 6-9　延迟检查的流程示意图（引用已经过 ETSI 允许）

在每次延迟检查之前，MAC 层必须检查在系统信息消息中发送的 RACH 信道控制参数是否已经改变，这是因为 PRACH 的参数快速变化（如动态延迟等级）可能在延迟检查过程中已经发生变化。另外，UTRAN 可以利用动态延迟等级来调整 PRACH 传输，以避免系统过载。

6.8　MAC 层可配置参数

MAC 层是由 RRC 根据系统信息、无线承载配置和测量控制信息来配置的。

最关键的MAC层可配置参数包括UE标识、无线承载配置、传输格式合并集、流量测量、RACH传输控制和加密。

在UE标识中，当UE处于连接模式时，MAC层可以使用MAC帧头中的U-RNTI和C-RNTI。无线承载配置允许MAC层将逻辑信道映射到传输信道上。传输格式集和传输格式合并集在MAC层中分别用来为每个动态传输信道选择传输格式，和为多个动态的传输信道选择传输格式合并方式。流量测量流程允许MAC层知道流量测量和报告流程的配置参数。RACH传输控制参数（如ASC、延迟量、前导倾斜循环次数、倾斜循环之间的最大和最小时间间隔）允许MAC层执行RACH流程。加密参数（如加密密钥和初始CFN）在MAC层中用来对透明模式的逻辑信道进行加密。

6.9 小结

MAC层的主要功能包括逻辑信道和传输信道映射、公共传输信道上的UE标识、逻辑信道的优先级划分、逻辑信道的复用和分离、传输格式合并选择、流量测量、TM逻辑信道的加密和RACH流程。

当逻辑信道映射到传输信道上时，MAC层会给MAC SDU（如RLC SDU）添加相应的帧头，使其变成MAC PDU。一个完整的MAC帧头中包含了TCTF、UE-Id类型、UE-Id和C/T区。通常，在专用逻辑信道映射到公共传输信道上时，使用完整的MAC帧头；而当专用信道映射到专用传输信道时，就不需要帧头。

MAC层负责执行传输格式合并（TFC）选择操作，该操作包含了传输块大小选择和传输块大小的有效合并选择。MAC层还负责确定发送到物理层的数据量大小。因此，MAC层必须选择一个有效的TFC，以使物理信道资源的利用率实现最大化。

流量测量是由UE在PS呼叫过程中执行的，UTRAN可以将UE配置成测量和报告上行有效流量的模式。UTRAN利用测量报告来决定何时将UE从一种连接状态转换到另一种连接状态，UTRAN还可以利用测量报告来确定最大DCH数据速率，并协商资源分配。

MAC层负责实现TM专用逻辑信道的加密功能。当MAC层执行加密过程时，不会对MAC帧头进行加密，因为帧头中可能包含了一个UE-Id地址区。所有接收到MAC PDU的UE都可以读取UE-Id区，但只有该PDU地址对应的UE才可以解密PDU的剩下内容。

MAC RACH流程包括接入业务类别（ASC）的定义和RACH传输的控制。MAC层负责选择接入业务类别并计算延迟，然后通过请求物理层执行一个前导

倾斜循环来启动一个 RACH 传输。在前导倾斜循环中，如果 UE 在 AICH 上接收到一个确认消息，UE MAC 将会请求物理层发送 RACH 消息；如果 UE 没有接收到确认消息或接收到拒绝确认消息，那么 UE MAC 将会启动另一次前导倾斜循环（如果没有达到最大前导倾斜循环次数）。

参 考 文 献

[1] 3GPP TS 25.301，v5.5.0. Radio interface protocol architecture，Release 5.

[2] 3GPP TS 25.321，v5.7.0. Medium Access Control (MAC) protocol specification，Release 5.

[3] 3GPP TS 25.331，v5.7.1. Radio Resource Control (RRC) protocol specification，Release 5.

[4] 3GPP TS 33.102，v5.7.1. 3G security；security architecture，Release 5.

第7章 物 理 层

物理层是协议栈的最底层，主要负责实现各种空中接口功能，所以物理层也称为协议栈的第1层（Layer 1，L1）。物理层负责为MAC层提供不同的传输信道，并为协议栈高层提供服务。物理层中定义了各种不同类型的物理信道。物理层中可以使用两种复用模式，分别为频分复用（Frequency Division Duplex，FDD）模式和时分复用（Time Division Duplex，TDD）模式。其中，FDD模式利用编码、频率和相对相位（上行链路中的同步相位或正交相位）来描述物理信道的特性；TDD模式利用时隙来描述物理信道的特性。

物理层主要实现以下这些功能：

（1）传输信道上的误码检测并向高层说明；

（2）传输信道的FEC编码/译码；

（3）传输信道的复用和编码合成传输信道（CCTrCh）的分离；

（4）编码传输信道与物理信道的速率匹配；

（5）编码合成传输信道与物理信道的映射；

（6）物理信道的功率加权与合并；

（7）物理信道的调制与扩频、解调与解扩；

（8）频率和时间（码片、位、时隙、帧）同步；

（9）无线特性测量（如FER、SIR、干扰功率等）并向高层说明；

（10）宏分集分布/合并和执行软切换；

（11）内环功率控制；

（12）射频（RF）处理；

（13）同步位移控制；

（14）波束成形。

无论工作在TDD模式还是FDD模式，UMTS都可以根据不同国家的频率分配来实现有效频率的高利用率。在物理层中，FDD模式下信息分布在5 MHz频段上（TDD模式下为3.84 Mcps）或1.6 MHz频段上（TDD模式下为1.28 Mcps）。在FDD模式中，上行传输和下行传输分别使用不同频段中独立的无线频率，而指定给系统的是成对的频段。

在TDD模式中，上行传输和下行传输利用同步时间间隔来承载在相同的无线频率上。物理信道中的时隙被划分为发送和接收两部分，上行链路信息和下行链路信息分别按照相反的方向进行传输。

无线帧是物理层中的基本传输单元，其长度为10 ms级（非HSDPA），并在FDD模式下划分为15个时隙，每个时隙包含2560个码片。物理信道的信息速率随符号速率的变化而变化，符号速率与扩频因子有关。FDD上行链路中扩频因子的范围为4～256，下行链路中扩频因子的范围为4～512；而码片速率为3.84 Mcps（chip/s）的TDD上行和下行链路扩频因子的范围为1～16。因此，FDD上行链路对应的符号速率范围为960～15 ksps（kilosymbols per second，千符号/秒），下行链路对应的范围为960～7.5 ksps；3.84 Mcps的TDD上行和下行链路对应的符号速率范围均为3.84Msps～240 ksps。

在1.28 Mcps的TDD模式下，10 ms的无线帧被划分为两个5 ms的子帧，每个子帧中包含了7个正常时隙和3个特殊时隙。如果扩频因子范围为1～16，那么对应的符号速率范围为80 ksps～1.28 Msps。

本章将主要介绍FDD模式，其中主要内容包括正交扩频编码、扰码、同步编码、物理层时域结构、下行链路和上行链路工作流程、物理信道结构、物理信道时域结构和物理层工作流程。

7.1　正交扩频编码

与窄带CDMA系统一样，WCDMA也是一种码分多址接入系统。在CDMA系统中，数据流利用Walsh编码来实现扩展；而在WCDMA系统中，数据流利用正交可变扩频因子（OVSF）编码来实现扩展。OVSF编码也称为信道化编码或Walsh编码。在OVSF的通用形式中，OVSF码可以写成$C_{ch,SF,k}$。其中，C_{ch}表示信道化编码，SF表示扩频因子，k表示码编号，范围为$0 \leqslant k \leqslant SF-1$。OVSF码通常用来在上行和下行链路中将数据符号扩展成码片，OVSF负责指定每个符号中码片的数量。

如图7-1所示，OVSF码构成了一个“代码树”。代码树的根为第1层分支的1位码$C_{ch,1,0}=(1)$，其下角标“ch”表示信道，下角标“1”表示扩频因子1，下脚标“0”表示码编号0；第2层分支主要由2个编码组成：$C_{ch,2,0}$和$C_{ch,2,1}$，这两个编码都是2位码，其扩频因子为2；第3层分支主要由4个编码组成：$C_{ch,4,0}$、$C_{ch,4,1}$、$C_{ch,4,2}$和$C_{ch,4,3}$，这4个编码都是4位码，其扩频因子为4；第4层分支具有8个8位码，其扩频因子为8。代码树可以延伸到10层分支，第10层分支中包含512个编码。在给定的代码树分支中，相应的扩频因子数值等于编码的数量。

图7-2描述了OVSF码的生成过程。其中，代码$C_{ch,2,0}$是通过将代码$C_{ch,1,0}$作为其第1位和第2位来生成的；代码$C_{ch,2,0}$是通过将代码$C_{ch,1,0}$作为其第1位，将代码$C_{ch,1,0}$的负数作为其第2位来生成的。依此类推，第3层分支的代码是由

第 2 层分支的代码按照相同的规律生成的。

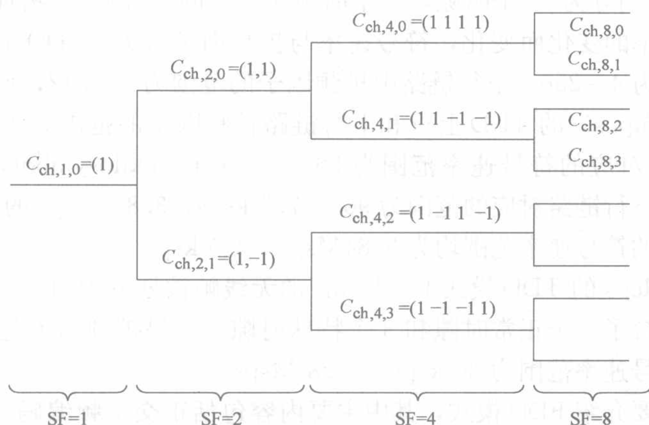


图 7-1 OVSF 码的各层分支

OVSF 代码树使得利用多个扩频因子成为了可能。在给定的扩频因子条件下，每一个 OVSF 码都与其他 OVSF 码之间相互正交。在下行链路中，同一个蜂窝单元中的各个 UE 可以通过不同的 OVSF 码来区分；在上行链路中，UE 中的各个专用物理信道（如 DPCCH 和 DPDCH）可以通过 OVSF 码来区分。

$$C_{ch,1,0}=1$$

$$\begin{bmatrix} C_{ch,2,0} \\ C_{ch,2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,1,0} & C_{ch,1,0} \\ C_{ch,1,0} & -C_{ch,1,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C_{ch,4,0} \\ C_{ch,4,1} \\ C_{ch,4,2} \\ C_{ch,4,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,2,0} & C_{ch,2,0} \\ C_{ch,2,0} & -C_{ch,2,0} \\ C_{ch,2,1} & C_{ch,2,1} \\ C_{ch,2,1} & -C_{ch,2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

图 7-2 OVSF 码的生成

下行链路中的扩频因子范围为 4～512，上行链路中的扩频因子范围为 4～256，采用不同扩频因子的编码具有不同的长度。例如，扩频因子为 128 的编码，其长度为 128 个码片；而扩频因子为 256 的编码，其长度为 256 个码片。在扩频过程中，每个数据符号由一个 OVSF 码表示。因此，高速率呼叫过程通常采用较低的扩频因子，而低速率呼叫过程通常采用较高的扩频因子，因为码片速率始终保持在 3.84 Mcps。

7.1.1 正交序列

如果两个序列之间是零相关的关系，那么这两个序列就可以认为是相互正交的。零相关是指这两个序列的乘积和（即在一段时间内求和）为零。数值 1 和 −1就是相反的两个极值。如果两个二进制序列的乘积和（由多个 1 和 −1 组成）

生成了一个新的序列，而且该序列具有相同数量的1和−1，那么这两个序列的相关性就为零。因此可以看到，OVSF码是由多个1和−1组成的。如果两个OVSF码之间的相关性为零，那么这两个OVSF码就是相互正交的。代码树中相同层分支中的各个OVSF码之间是相互正交的，而且不同层分支中的各个非相关码之间也是相互正交的。但是，不同层分支中的各个相关码之间不是相互正交的。例如，$C_{ch,4,2}$和$C_{ch,2,1}$就不是相互正交的。

7.1.2　扩频与解扩

扩频与解扩的基本概念是指当一个符号与指定的二进制序列相乘后，其乘积和再与相同的二进制序列相乘，原先的正交符号就可以恢复。也就是说，当利用相同的代码进行两次相乘时，对原始代码不会产生影响。

WCDMA系统是通过将每个编码符号与一个OVSF码相乘来实现正交扩频的。例如，在图7-3中，数值为1的原始符号就是利用OVSF码$C_{ch,4,2}$来实现正交扩频的，最后生成了一个4码片长的符号描述符。

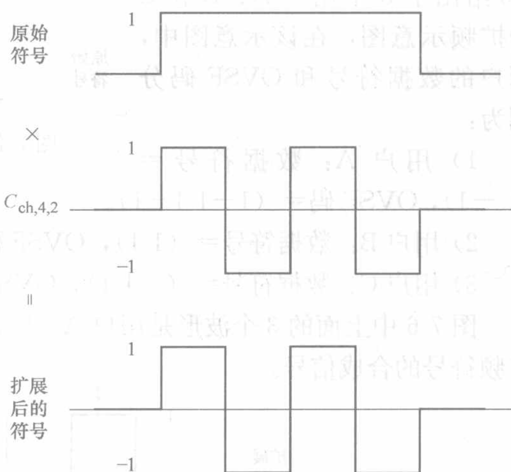


图7-3　正交扩频示意图

对于符号速率为60 ksps的话音传输来说，用于扩频的64位OVSF码其运行速度比符号快64倍，因此扩频符号运行速率为3.84 Mcps；而对于符号速率为960 ksps的数据传输来说，用于扩频的4位OVSF码其运行速度比符号快4倍，因此扩频符号码片速率为3.84Mcps。

扩频符号可以利用扩频时采用的OVSF码进行解扩。如图7-4所示，数值1的原始符号可以通过将扩频符号与相同的OVSF码$C_{ch,4,2}$相乘来恢复。注意，在理想情况下（无噪声），原始符号是完整恢复的，不存在误差；但是，在实际情况中，WCDMA系统的信道通常是包含噪声的，这样在扩频和解扩的过程中就会产生误差。因此，WCDMA系统通常采用一种前向纠错（Forward Error Correction，FEC）技术来消除噪声的影响，从而提高系统性能。

如果解扩时使用与扩频时不一样的正交序列，那么原始符号就无法恢复了。如图7-5所示，如果扩频符号利用错误的正交码$C_{ch,4,1}$进行解扩，那么最后得到

的符号就是一个失真扭曲的符号，而不是数值1的原始符号，这就是OVSF码正交特性的优势。如果其他人想通过错误的代码来对信号进行译码，那么就得不到原始的数据，这样就可以保护原始数据的安全。

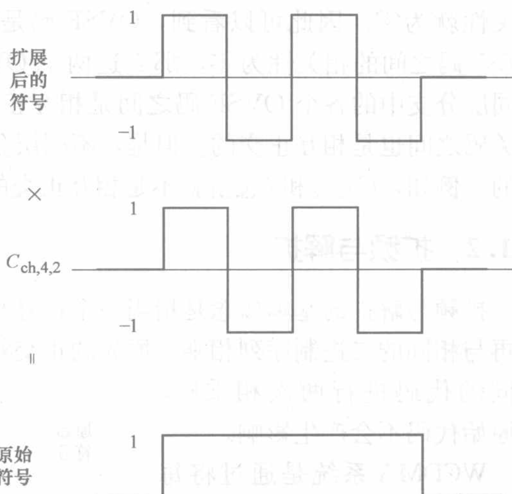


图7-4　利用正确的代码来恢复原始信号

在实际系统中，多个用户的扩频符号可以合并在一起发送。在接收端，每个原始符号都可以利用各自的OVSF码来恢复。图7-6给出了3个用户A、B和C的扩频示意图，在该示意图中，用户的数据符号和OVSF码分别为：

1）用户A：数据符号＝（1 −1），OVSF码＝（1−1 1−1）。

2）用户B：数据符号＝（1 1），OVSF码＝（1 1 −1−1）。

3）用户C：数据符号＝（−1 1），OVSF码＝（1 −1−1 1）。

图7-6中上面的3个波形是用户A、B和C的扩频符号，底部的波形是3个扩频符号的合成信号。

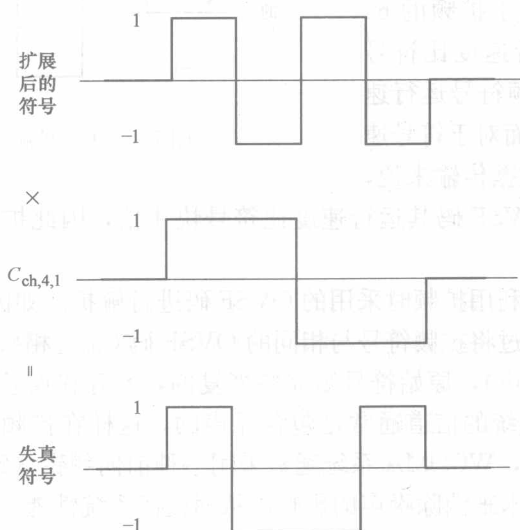


图7-5　采用错误代码对扩频符号进行解扩

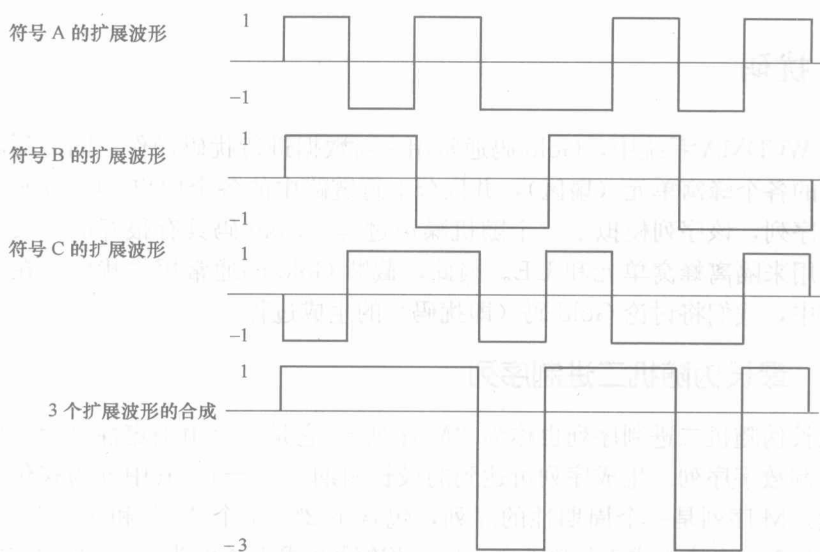


图 7-6　3 个扩频符号的合成信号

在接收端，每个用户的数据符号都可以通过将合成信号与每个用户的 OVSF 码相乘来恢复。例如，如图 7-7 所示，在用户 A 的接收端，合成信号与用户 A 的 OVSF 码相乘后，结果在一个符号周期内取平均值，第 1 个符号周期内的平均值为 1，第 2 个符号周期内的平均值为－1。因此，用户 A 发送的原始数据符号（1 －1）就恢复成功了。用户 B 和 C 的原始数据符号也可以利用相应的 OVSF 码来恢复。

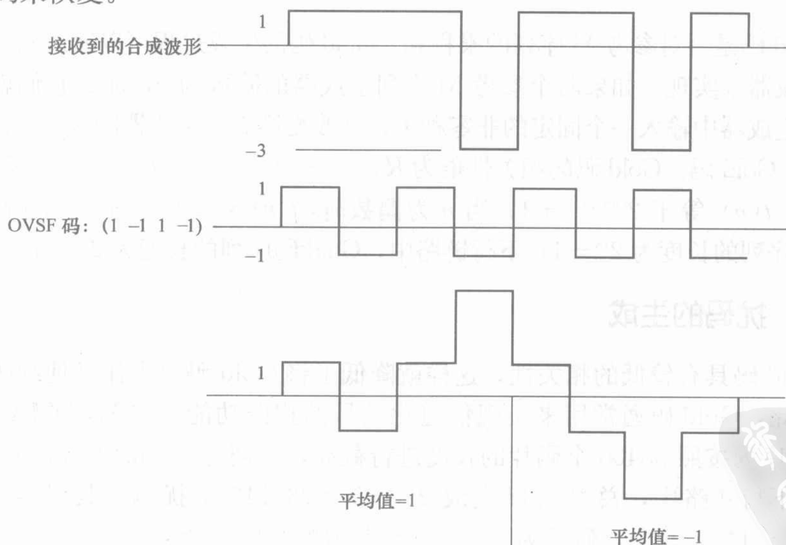


图 7-7　合成波形中的原始数据恢复

7.2　扰码

在WCDMA系统中，Gold码通常用来对数据进行扰码操作，同时隔离下行链路中的各个蜂窝单元（扇区），并区分上行链路中的各个用户。Gold码是伪随机噪声序列，该序列模拟了一个随机噪声过程。Gold码具有很好的相关性，非常适合用来隔离蜂窝单元和UE。因此，截断Gold码通常用作扰码。在接下来的内容中，我们将讨论Gold码（即扰码）的生成过程。

7.2.1　最长伪随机二进制序列

最长伪随机二进制序列也称为"M序列"，它是一个由确定性过程生成的随机二进制数字序列。生成序列可达到的最长周期为2^n-1，其中n为移位寄存器的数量。M序列是一个周期性的序列，包含了2^n-1个"1"和2^n-1个"0"。其中，1/2的连续0或1长度为1，1/4的连续0或1长度为2，1/8的连续0或1长度为3，依此类推。M序列C_m与其移位序列C_{m+t}的码片和是同一个序列的不同时移版本。M序列的自相关性是一个周期函数，该函数只有两个值，即2^n-1或-1。当两个完全相同的M序列精确对准时，自相关性可以达到峰值2^n-1；如果存在任何偏差，自相关性就马上变成-1。因此，如果一个M序列在整个2^n-1周期内与其自身都是相关的，那么其自相关性值就是1。

7.2.2　Gold码

Gold码是一对参考M序列的乘积和。Gold码的生成过程可以通过两个参考M序列生成器来实现。如果两个参考M序列生成器的阶数为n，那么它们就可以在第1个生成器中输入一个固定的非零种子，并改变第2个生成器的种子范围来生成2^n-1个Gold码。Gold码的相关性值为$R_{xy}=\{-t(n),-1,t(n)-2\}$。其中，$n$为奇数时，$t(n)$等于$2^{(n+1)/2}+1$；当$n$为偶数时，$t(n)=2^{(n+2)/2}+1$。上行链路中，Gold码序列的长度为$2^{18}-1$；下行链路中，Gold码序列的长度为$2^{25}-1$。

7.2.3　扰码的生成

Gold码具有较低的相关性，这样就降低了将Gold码误当作其他编码的可能性。因此，Gold码通常用来实现信道化信号的扰码功能。在WCDMA系统中，Gold码序列按照38400个码片的长度进行截断，以便与10 ms无线帧相匹配。

在下行链路中，总共可以生成$2^{18}-1=262143$个扰码，其编号为0，1，2，…，262142。其中，码长为$2^{18}-1$，但是截断长度为38400个码片。

尽管如此，并不是所有的Gold码都可以使用。在常用模式下，通常使用

8192个扰码，编号为0，1，2，…，8191。这8191个扰码划分为512组，每组中包含1个主扰码（Primary Scrambling Code，PSC）和15个次扰码（Secondary Scrambling Code，SSC）。其中，PSC码是$16\times m$扰码，其中$m=0$，1，…，511（即0，16，32，…，8176）；PSC码是$16\times m+k$扰码，其中$k=1$，2，…，15（例如，与第一个PSC相关的SSC为代码1，2，…，15）。512个PSC码可以进一步划分为64个扰码组，每个组包含8个PSC码。

扰码通常用来识别蜂窝单元（扇区），每个蜂窝单元会被指定一个惟一的PSC码（512个PSC码中的一个）。对于任意两个扰码来说，如果忽略它们之间的定时偏差，同时允许蜂窝单元异步部署并使用SSC，那么它们的相关性就非常低。PCCPCH、主CPICH、PICH、AICH和承载PCH的SCCPCH信道始终采用PSC码来发送数据，而其他下行物理信道既可以采用PSC码来发送数据，也可以采用与蜂窝单元PSC相关的扰码组中的某个SSC来发送数据。CCTrCh信道中允许PSC码与SSC码混合使用。通常，在需要重复使用OVSF码时采用SSC码，该OVSF码由PSC码实现扰码。

在上行链路中，存在2^{24}个扰码，码长为$2^{25}-1$，但是截断长度为38400个码片。当指定专用的物理信道时，UTRAN会告诉UE使用特定的上行扰码。每个UE会被指定一个惟一的扰码（2^{24}个扰码中的一个），用来实现用户识别功能。

7.3 同步码

目前主要有1种主同步码和16种次同步码，这两种同步码都是复值序列，其长度为256个码片。

主同步码C_p的生成过程如下所述：首先定义一个序列$\boldsymbol{a}=\{x_1, x_2, \cdots, x_{16}\}=\{1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, 1\}$，然后主同步码就可以表示为$C_p=(1+j)\times\{a, a, a, -a, -a, a, -a, -a, a, a, a, -a, a, -a, a, a\}$。

次同步码$C_{s,k}$（$k=1$，…，16）的生成过程如下所述：首先定义一个序列$z=\{b, b, b, -b, b, b, -b, -b, b, -b, b, -b, -b, -b, -b, -b\}$，其中$b=\{x_1, x_2, \cdots, x_8, -x_9, -x_{10}, \cdots, -x_{16}\}=\{1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, -1\}$。从矩阵$\boldsymbol{H}_8$可以得到Hadamard序列，$\boldsymbol{H}_8$是一个256×256的方阵。次同步码为$C_{s,k}=(1+j)\times\{h_m(0)\times z(0), h_m(1)\times z(1), \cdots, h_m(256)\times z(256)\}$，其中$h_m(i)$是矩阵$H_8$中第$m$行第$i$列的符号，$z(i)$是$z$序列中第$i$个符号，$m=16(k-1)$，$k=1$，2，…，16。

Hadamard序列是矩阵H_8中的一行，由递归公式（7-1）定义：

$$\boldsymbol{H}_0=1 \tag{7-1}$$

$$\boldsymbol{H}_k=\begin{bmatrix}H_{k-1} & H_{k-1}\\ H_{k-1} & H_{k-1}\end{bmatrix} \qquad (k\geqslant 1) \tag{7-2}$$

主同步码通常用来识别时隙边界，而次同步码通常用来识别帧边界。关于PSC码和SSC码用途的详细介绍，将在7.8.1节中讨论。

7.4 物理层同步

物理层同步非常简单，物理信道中无线帧的长度为10 ms级，物理信道位于无线帧的边界处，传输信道位于10 ms、20 ms、40 ms和80 ms边界处。因此，传输信道会分解成10 ms长度的无线帧，以便分布物理信道。一个10 ms的无线帧会划分成15个时隙，每个时隙长度为2/3 ms。WCDMA系统工作在3.84Mcps的码片速率下，因此每个时隙中包含2560个码片。

时隙通常不仅可以用于初始系统获取，也可以用于物理层控制。在7.5.10节和7.7.8节中将要讨论的物理信道结构中，功率控制位嵌入在每个时隙中，用来说明WCDMA系统中功率控制功能的工作频率为1500 Hz。

7.5 下行链路工作流程

通常，下行链路工作流程以从MAC层接收到传输信道数据开始，以向空中发送物理信道数据结束。如图7-8所示，下行链路工作流程由多个步骤组成，其

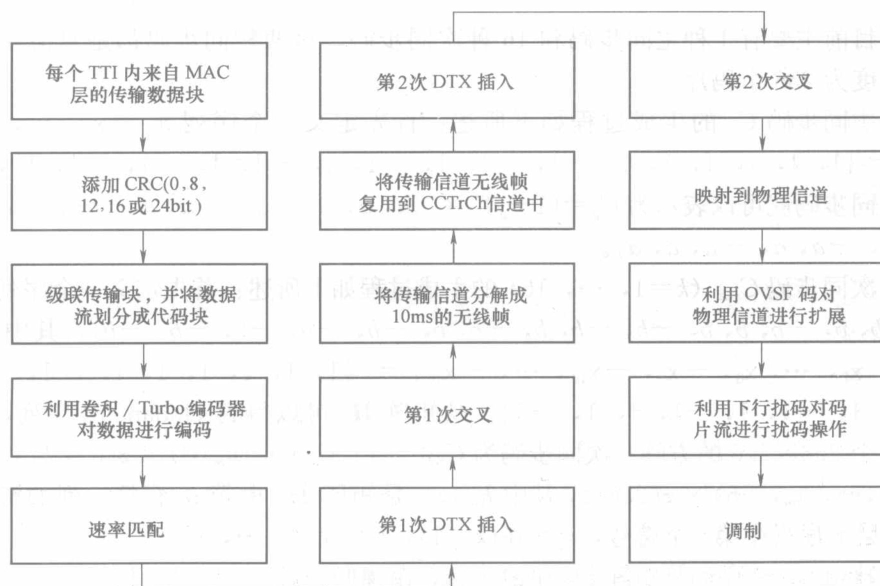


图7-8 下行链路工作流程

中包括循环冗余校验（CRC）附着、传输块的级联、数据流分段成代码块、信道编码、速率匹配、第1次中断传输（Discontinuous Transmission，DTX）、第1次交叉、传输信道分割成10 ms长的无线帧、传输网无线帧复用成编码合成传输信道（CCTrCh）、第2次DTX插入、第2次交叉、映射到物理信道、利用OVSF码对物理信道进行扩频、利用下行扰码对物理信道进行扰码以及调制等。在调制之后，信号就可以在空中进行发送，同时结束下行物理工作流程。接下来的内容将详细介绍下行链路工作流程中的每一个步骤。

7.5.1 传输信道数据发送到物理信道

下行工作流程中的第一步就是将传输信道数据发送到物理信道中。在每一个传输时间间隔，物理层都会向MAC层请求数据，然后MAC层必须询问RLC层，以确定有多少数据需要发送，之后再决定MAC层可以发送多少数据到物理层。

1. 传输块和传输块集

在传输信道数据发送到物理层的过程中，数据是以传输块的形式发送的。一个传输块等同于一个MAC PDU，它是MAC层和物理层之间数据交换的基本单元。传输块的时间长短称为传输时间间隔（Transport/Transmission Time Interval，TTI），TTI的值可以是10 ms、20 ms、40 ms或80 ms。对于给定的传输信道，物理层每隔一个TTI的时间就会向MAC层请求数据。

传输块集是由0个或多个MAC层和物理层之间使用相同传输信道进行数据交换的传输块组成的，图7-9描述了这些定义。

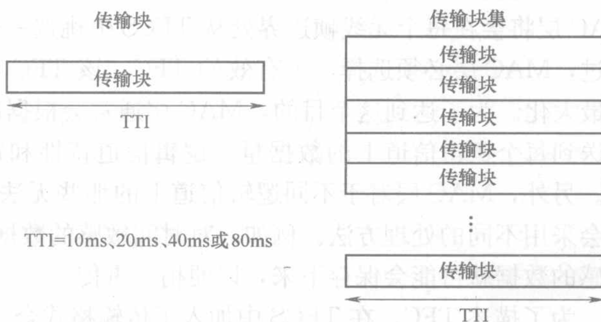


图7-9 传输块和传输块集

传输块可以用来避免出现大量的数据丢失。当较大的数据块分解成一组较小数据块时，每个较小的数据块都可以拥有自己的CRC。数据块中产生的误码只会导致该数据块丢失，而其他数据块不会受影响。如果较大的数据块没有分解成较小的数据块，而且该数据块中出现了误码，那么该数据块中的所有数据都可能会丢失。

2. 传输格式和传输格式集

发送到物理层的传输块集必须符合物理层向MAC层提供的传输格式

(Transport Format，TF)。传输格式中定义了MAC层在TTI时间内在传输信道上发送传输块集的格式，其中指明了传输块的长度（换句话说就是每个传输块中的比特数）以及每个传输块集中的传输块数量。例如，假设传输块的长度为640bit，那么传输块格式就可以定义为TFn=n×640，其中n代表了传输块的数量，其值可以为0，也可以是任何正整数。

在发送传输块时，有很多传输格式可供选择。关于指定传输信道的有效传输格式的集合称为传输格式集（Transport Format Set，TFS）。换句话说，传输格式集定义了每个传输信道的所有有效传输格式。例如，TFS可以由TF2、TF2、TF4和TF8组成。为了支持64kbit/s速率的电路交换无线接入承载（Circuit Switched Radio Access Bearer，CS RAB）以便传输流数据（其中传输块长度为640位），如果TTI=10 ms，那么就选择TF1=1×640；如果TTI=20 ms，那么就选择TF2=2×640；如果TTI=40 ms，那么就选择TF4=4×640；如果TTI=80 ms，那么就选择TF8=8×640。

3. 传输格式合并和传输格式合并集

如前所述，多个传输信道可以复用到一个CCTrCh信道上。TFS是为传输信道定义的，而且不同传输信道的TFS也各不相同。在多个传输信道映射到一个CCTrCh信道的过程中，传输格式有很多种有效合并方式（每个传输信道对应一种）可供选择，每一种有效合并方式称为“传输格式合并”（Transport Format Combination，TFC）。

一组TFC就称为“传输格式合并集”(Transport Format Combination Set，TFCS)。包含了指定CCTrCh信道所有有效TFC的TFCS提供给MAC层后，MAC层将会在每个无线帧边界处从TFCS中挑选一个TFC。在第6章中我们提到过，MAC层必须选择一个有效的TFC，该TFC可以使物理信道资源的利用率最大化。为了达到这个目的，MAC层通常会根据以下因素来选择TFC：将要发送到每个逻辑信道上的数据量、逻辑信道特性和每个逻辑信道的服务质量参数。另外，MAC层对于不同逻辑信道上的那些无法在特定TTI内发送的数据，将会采用不同的处理方法。例如，对时间敏感的数据可能会被丢弃，而对时间不敏感的数据就可能会保存下来，以便稍后重传。

为了描述TFC，在TFCS中加入了传输格式合并描述符（Transport Format Combination Indicator，TFCI）索引。TFCI在专用物理控制信道（DPCCH）上每个无线帧中发送，同时允许接收端识别用于每个无线帧中的TFC。

图7-10详细描述了TF、TFS、TFC和TFCI之间的关系。在图7-10中，每个阴影框就是一个TF，每个阴影列代表了一个传输信道的TFS，每个阴影行代表了一个TFC，第1行描述了每个传输信道的TTI，每列中的数字就是TFCI的值。5个阴影行组成了一个TFCS。

TFCI \ TTI	TrCh1 10ms	TrCh2 20ms	TrCh3 40ms	TrCh4 80ms
1	1×100	2×50	2×100	4×100
2	1×200	4×50	4×100	4×100
3	1×200	2×50	2×100	4×100
4	1×100	1×100	2×100	4×100
5	2×100	2×50	4×100	4×100

图 7-10　TTI、TF、TFS、TFC、TFCS 和 TFCI

4. TFC 选择

在每个无线帧边界（每个最小 TTI＝10 ms）处，MAC 层会从 TFCS 中挑选一个 TFC，用来向物理层发送传输块。一旦 TFC 选定，指定传输信道的传输格式在该信道的 TTI 内就不能改变。

为了详细阐述 TFC 的选择过程，图 7-11 给出了在 90 ms 内利用 TFCS 进行 TFC 选择的示范过程。

TFCI	1	3	4	4	2	2	5	5	3
TrCh1 TTI=10ms	1×100	1×200	1×100	1×100	1×200	1×200	2×100	2×100	1×200
TrCh2 TTI=20ms	2×50	2×50	1×100	1×100	4×50	4×50	2×50	2×50	2×50
TrCh3 TTI=40ms	2×100	2×100	2×100	2×100	4×100	4×100	4×100	4×100	2×100
TrCh4 TTI=80ms	4×100	4×100	4×100	4×100	4×100	4×100	4×100	4×100	4×100

0　10　20　30　40　50　60　70　80　90

Time(ms)

图 7-11　TFC 选择（时间）

在时间 0 处，选择 TFCI 1。在接下来的 20 ms 内，信道 TrCh 2 的传输格式不能改变；在接下来的 40 ms 内，信道 TrCh 3 的传输格式不能改变；在接下来的 80 ms 内，信道 TrCh 4 的传输格式不能改变。在 0～10 ms 内，从传输信道到物理层的数据发送情况如下：

1）传输信道 1：向物理层发送 1 块 100 位的数据；

2）传输信道 2：向物理层发送 2 块 50 位的数据；

3）传输信道 3：向物理层发送 2 块 100 位的数据；

4）传输信道 4：向物理层发送 4 块 100 位的数据。

在 10 ms 处，选择 TFCI 3。在 10～20 ms 之间，从传输信道到物理层的数据发送情况如下：

1）传输信道 1：向物理层发送 1 块 200 位的数据；

2）传输信道 2、3 和 4 与前 10 ms 相同。

在 20 ms 处，选择 TFCI 4。在 20～30 ms 之间，从传输信道到物理层的数据发送情况如下：

1）传输信道 1：向物理层发送 1 块 100 位的数据；

2）传输信道 2：向物理层发送 1 块 100 位的数据；

3）传输信道 3 和 4 与前 10 ms 相同。

在 30 ms 处，再次选择 TFCI 4。在 30～40 ms 之间，所有从传输信道到物理层的数据发送情况与前 10 ms 相同。

在 40 ms 处，选择 TFCI 2。在 40～50 ms 之间，从传输信道到物理层的数据发送情况如下：

1）传输信道 1：向物理层发送 1 块 200 位的数据；

2）传输信道 2：向物理层发送 4 块 50 位的数据；

3）传输信道 3：向物理层发送 4 块 100 位的数据；

4）传输信道 4 与前 10 ms 相同。

在 50 ms 处，再次选择 TFCI 2。在 50～60 ms 之间，所有从传输信道到物理层的数据发送情况与前 10 ms 相同。

在 60 ms 处，选择 TFCI 5。在 60～70 ms 之间，从传输信道到物理层的数据发送情况如下：

1）传输信道 1：向物理层发送 2 块 100 位的数据；

2）传输信道 2：向物理层发送 2 块 50 位的数据；

3）传输信道 3 和 4 与前 10 ms 相同。

在 70 ms 处，再次选择 TFCI 5。在 70～80 ms 之间，所有从传输信道到物理层的数据发送情况与前 10 ms 相同。

在 80 ms 处，选择 TFCI 3。在 80～90 ms 之间，所有从传输信道到物理层的数据发送情况与 10～20 ms 之间相同。

7.5.2 CRC 附着

在每个 TTI 内从 MAC 层接收到传输块之后，物理层会为每个传输块附着一个 CRC，图 7-12 给出了一个描述 CRC 附着的示例。在该例子中，对于信道 TrCh 1，每个 TTI 内只有一个传输块；对于信道 TrCh 2，在前两个 TTI 中，每个 TTI 内包含 2 个传输块，第 3 个 TTI 内有 1 个传输块。

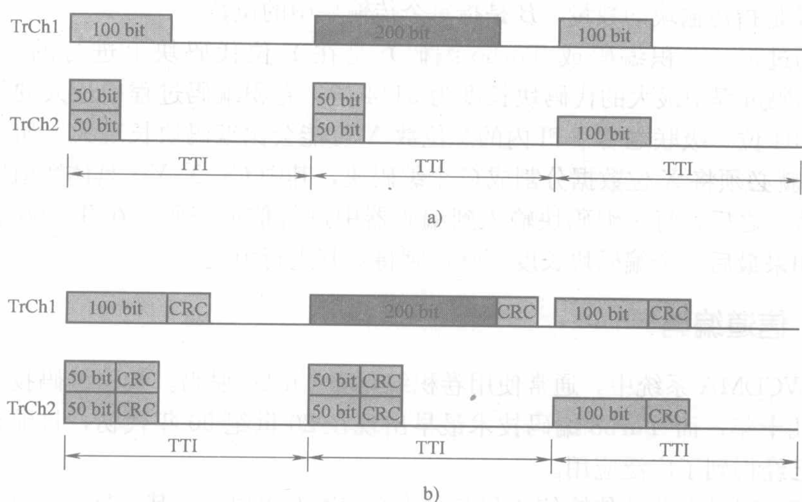


图 7-12　CRC 附着示意图

a）MAC 层在每个 TTI 内发送传输块　b）物理层为每个传输块附着 CRC

CRC 的长度可以是 0、8、12、16 或 24 位，每个传输信道应该采用的 CRC 的长度是由上层信号告知的。如果 CRC 的长度为 0，就说明没有 CRC 附着。利用 CRC 可以为每个传输块提供纠错功能。

7.5.3　传输块级联及代码块分割

在 CRC 附着之后，物理层负责对每个传输信道上 TTI 内的所有传输块执行级联功能。图 7-13 详细描述了利用图 7-12 中的传输块进行传输块级联的过程。对于信道 TrCh 1，没有必要进行级联，因为在 TTI 时间内只有一个传输块；对于信道 TrCh 2，在前两个 TTI 的每一个内，两个传输块级联在一起形成一个更大的数据块。

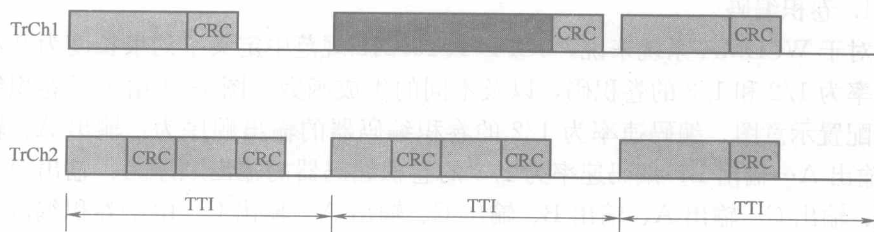


图 7-13　传输块的级联

对于指定的传输信道，级联之后 TTI 内的位数由式（7-3）给定：

$$X = MB \tag{7-3}$$

式中，M是指传输块的数量，B是指每个传输块中的位数。

编码过程（卷积编码或 Turbo 编码）是在Y位代码块上进行的。其中，Turbo 编码过程中最大的代码块长度为 5114 位，卷积编码过程中最大的代码块长度为 504 位。级联之后 TTI 内的总位数X可能会比编码块长度大。如果$X>Y$，那么就必须将X位数据分割成C个编码块，其中$C=X/Y$，具体数值取最接近的整数。之后，每个编码块输入到编码器中进行信道编码。在 Turbo 编码过程中，如果最后一个编码块长度不够，则将对其进行填充。

7.5.4　信道编码

在 WCDMA 系统中，通常使用卷积编码和 Turbo 编码。卷积编码技术已经使用了几十年，而 Turbo 编码技术最早出现在 20 世纪 90 年代初，目前在很多系统中已经得到了广泛应用。

卷积编码是在公共传输信道和专用传输信道上实现的，其数据速率低于或等于 32kbit/s。对于约束长度为 9 的卷积编码器来说，在编码之前，系统会在代码块的末端添加 8 个尾比特，这些尾比特都为二进制数 0。

数据采用零尾的目的是为了使编码器中的内容齐平。Turbo 编码通常用于专用传输信道，其数据速率等于或高于 64kbit/s。表 7-1 列出了信道编码方案和各种传输信道的编码速率。

表 7-1　信道编码方案和编码速率（引用已经过 ETSI 允许）

TrCh 信道类型	编码方案	编码速率
BCH	卷积编码	1/2
PCH		
RACH		1/2、1/3
CPCH、DCH、DSCH、FACH	Turbo 编码	1/3

1. 卷积编码

对于 WCDMA 系统来说，3GPP TS25.212 规范中定义了约束长度为 9 和编码速率为 1/2 和 1/3 的卷积码，以及不同的生成函数。图 7-14 给出了卷积编码器的配置示意图。编码速率为 1/2 的卷积编码器的输出顺序为：输出 A、输出 B、输出 A…输出 B；编码速率为 1/3 的卷积编码器的输出顺序为：输出 A、输出 B、输出 C、输出 A、输出 B、输出 C、输出 A…输出 C。由于卷积编码器具有 8 个移位寄存器，所以一个输入位将会影响很多编码输出位，具体影响根据输出端数量和分支决定，受影响的输出位数等于被分支相乘的输出数量。例如，编码速率为 1/2 的卷积编码器受影响的输出位数为 20 位，而速率为 1/3 的卷积编码器受影响的输出位数为 45 位。

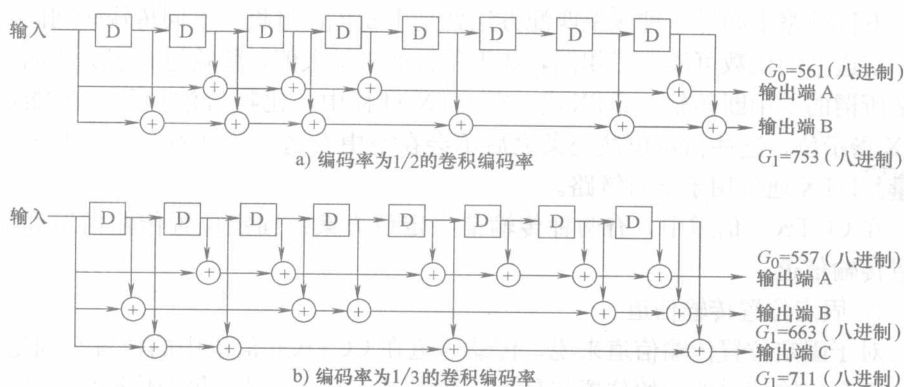


图 7-14 编码速率为 1/2 和 1/3 的卷积编码器（引用已经过 ETSI 允许）

2. Turbo 编码

Turbo 编码器通常采用一个并行级联卷积码（Parallel Concatenated Convolution Code，PCCC)，其中包含两个 8 态子编码器和 1 个 Turbo 码内部交叉器。图 7-15 给出了 Turbo 编码器的结构示意图，其中 Turbo 编码器的编码速率为 1/3。Turbo 编码的效率非常高，因为其编码块长度相当于或高于 1000 个符号，这就是传输信道数据速率可以达到 64kbit/s 或更高的原因。

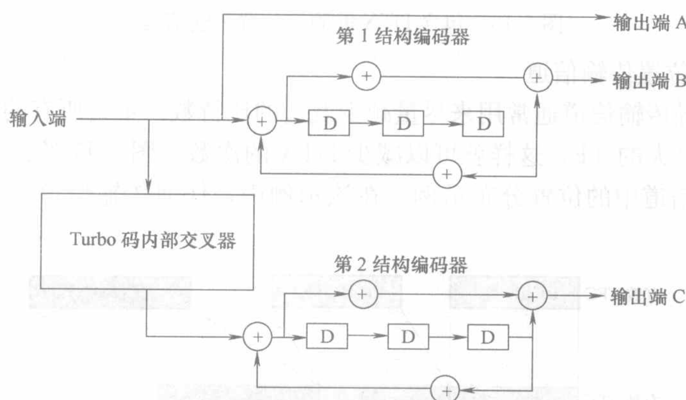


图 7-15 编码速率为 1/3 的 Turbo 编码器

7.5.5 速率匹配

速率匹配负责通过对传输信道上的比特流进行复制或穿孔，来将传输信道位数与物理信道无线帧的位数匹配起来。其中，只有部分比特可以复制或删除。在速率匹配过程中，高层会为每个传输信道指定一个半静态速率匹配属性，该属性只能通过高层的信令来修改，通常用来计算复制或穿孔的位数。

下行链路中的另一种速率匹配方法就是中断传输过程。不同传输时间间隔内传输信道上的位数可能不尽相同，如果位数低于最大值，传输过程就会中断，这就是所谓的“中断传输（DTX）”。在DTX过程中，比特流添加了不带能量的DTX指示位，这些指示位被交叉之后不会在空中发送，并且不会产生发送信号能量。DTX通常用于下行链路。

在CCTrCh信道中，有两种传输信道定位方案：固定位置传输信道和灵活位置传输信道。

1. 固定位置传输信道

对于固定位置传输信道来说，传输信道在CCTrCh信道中的位置是固定的，其中每个传输信道的起始位置与最大传输格式有关。但是，每个传输信道的最大传输格式的组合可能会是一个无效TFC。因此，固定位置传输信道可能会导致DTX出现的可能性增加。例如，如图7-16所示，上面的TFC就是一个无效TFC，其中传输信道不需要DTX；而下面的TFC是一个有效TFC，其中传输信道1和2中就需要DTX。

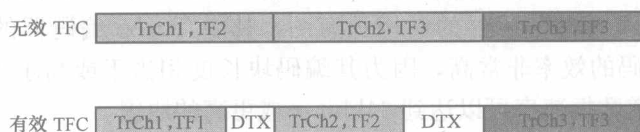


图7-16 包含DTX的固定位置传输信道

2. 灵活位置传输信道

灵活位置传输信道通常用来尽量减少发送的比特数。不是所有的传输信道都会同时发送最大的TF，这样就可以减少DTX的次数。图7-17给出了传输信道在CCTrCh信道中的位置分布示例，在该示例中，任何传输信道中都不需要添加DTX位。

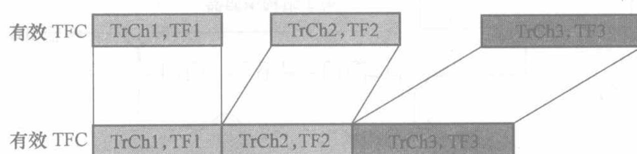


图7-17 灵活位置传输信道

7.5.6 首次DTX插入

在速率匹配中提到过，通过插入DTX指示位可以填充无线帧。是否执行DTX插入取决于在CCTrCh信道中是采用固定位置传输信道定位方案，还是采用灵活位置传输信道方案。在连接中，UTRAN负责为每个CCTrCh信道决定

是采用固定位置传输信道定位方案，还是采用灵活位置传输信道方案。DTX指示位通常用来标识传输过程何时结束，但DTX指示位不会被发送。

DTX插入指示位通常只用于无线帧中传输信道的位置是固定的情况。在固定位置的传输信道方案中，无线帧为每个传输信道保留了固定数量的比特（位），固定位数等于最大有效TF中的位数。如果无线帧中数据位不够的话，就可以插入DTX指示位。例如，如图7-18所示，特定传输信道可能包含3种有效传输格式：TF1、TF2和TF3。当选择传输格式TF2时，就可以添加DTX指示位来填充TF2和TF3之间的空隙。

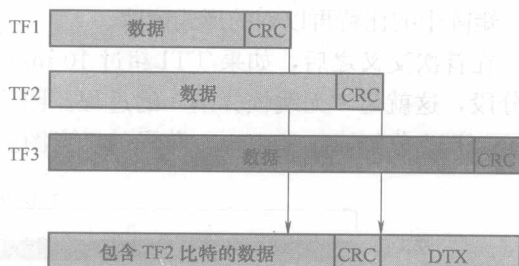


图7-18 DTX指示位的插入

7.5.7 首次交叉和无线帧分割

交叉的目的是为了将突发误差分布到多个无线帧中，从而减小BLER。首次交叉是在首次DTX插入之后和无线帧分割之前执行的，其具体过程如下所述：

1）在TTI时间内，将数据以行的形式写入矩阵，矩阵的列数等于TTI除以10 ms，行数等于传输信道上每10 ms内的位数；

2）置换各列；

3）从最左边的列开始，以列的形式读取矩阵。

每个TTI内（10、20、40、80 ms）的列置换是预先定义的[2]。在20 ms的TTI内，列置换形式是<0，1>；在40 ms的TTI内，列置换形式是<0，2，1，3>；在80 ms的TTI内，列置换形式是<0，4，2，6，1，5，3，7>。图7-19中

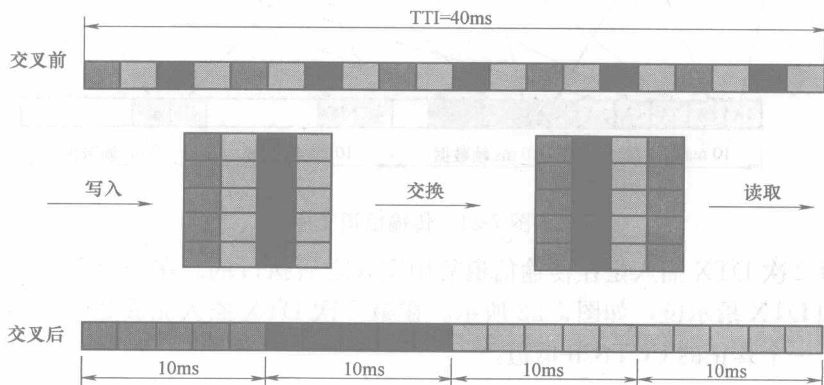


图7-19 包含20bit的40 ms TTI交叉

给出了40ms的TTI内首次交叉示例，其中包含20个比特，这20bit是以行的形式写入矩阵的，形成了一个4×5的矩阵；之后，第2列和第3列进行置换；置换之后，矩阵中的比特再以列的形式读取。

在首次交叉之后，如果TTI超过10 ms，那么传输信道将分割成多个10 ms的分段，这就是“无线帧分割”的过程。图7-20描述了首次交叉后图7-19中的40 ms TTI分割成4个10 ms分段的示意图。

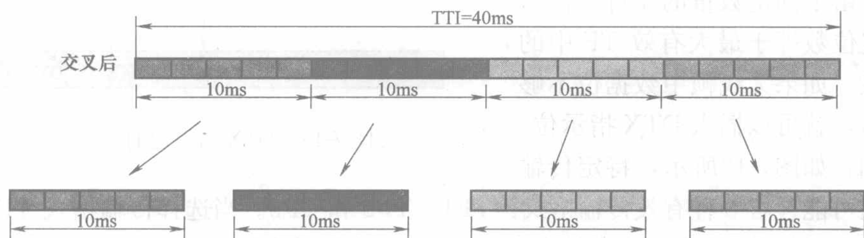


图7-20　无线帧分割示例

7.5.8　传输信道复用和第2次DTX插入

传输信道复用是指将多个传输信道进行排列来形成一个CCTrCh信道。在无线帧分割之后，在每10 ms内就会从每个传输信道中提取一个无线帧，用于传输信道复用。这些提取出来的无线帧按照顺序依次复用到一个CCTrCh信道中。这样，在CCTrCh信道中，每个10ms的无线帧中都包含了多个传输信道。图7-21描述了具有不同TTI的5个传输信道复用的示意图。

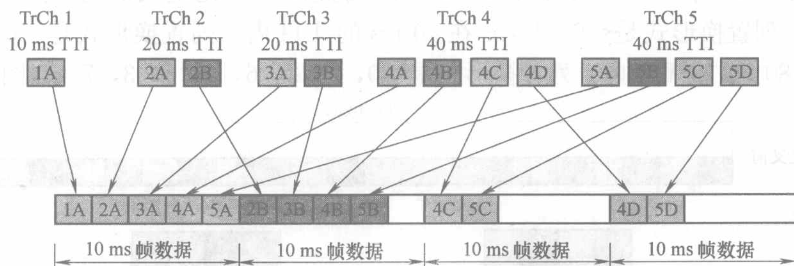


图7-21　传输信道复用

第2次DTX插入是在传输信道复用完成之后执行的。在每个无线帧的末端会添加DTX指示位，如图7-22所示。在第2次DTX插入完成之后，比特流就变成了一个真正的CCTrCh信道。

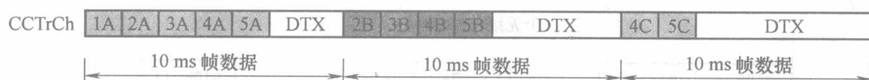


图 7-22 第 2 次 DTX 插入

7.5.9 第2次交叉

第2次交叉的目的是为了防止 Viterbi 或 Turbo 编码器产生突发错误。在发送端一侧，比特从高到低以行的形式写入矩阵，从左至右以列的形式读取出来；在接收端一侧，接收端执行相反的操作，并按照原始的顺序存储各个比特。第2次交叉是以“每个无线帧中每个物理信道”为单位执行的。当使用多个物理信道时，各个交叉比特就会划分到不同的物理信道中。假设 CCTrCh 信道上一个10ms无线帧中的比特数为 X，使用的物理信道数为 P，那么每个无线帧的每个物理信道中的比特数就是 $U=X/P$，这就是“物理信道分割”过程。

在发送端，第2次交叉包含以下步骤：

1）将 U 个比特以行的形式写入矩阵，列数为30，最后一行中空缺的地方用空比特填充；

2）从左边开始指定矩阵的列编号，依次为0，1，2，…，最右边的列编号为29；

3）置换各列，使得矩阵满足以下列样式[2]：<0，20，10，5，15，25，3，13，8，18，28，1，11，21，6，16，4，14，24，19，9，29，1，2，7，33，27，17>；

4）从左至右，以列的形式读取矩阵中的比特；

5）去除空比特位。

在第2次交叉完成之后，DTX 位就分布在所有比特区域中了。同样，突发错误也就更加均匀地分布在输出数据中了，这样就可以提高射频环境下信道衰退时的译码器性能。

7.5.10 映射到物理信道

在第2次交叉完成之后，CCTrCh 信道中的每个 10 ms 无线帧就会分布在专用物理信道（DPCH）无线帧的数据域中。物理层控制域和数据域一起复用在 DPCH 中，也就是说，专用物理数据信道（DPDCH）和专用物理控制信道（DPCCH）复合在一起，形成一个 DPCH 信道。物理层控制域中包含了传输格式合并指示（TFCI）域、导频位区和 UE 的发送功率控制命令区。图 7-23 给出了下行 DPCH 的结构示意图[3]。物理信道的数据速率范围为 15～1920kbit/s。

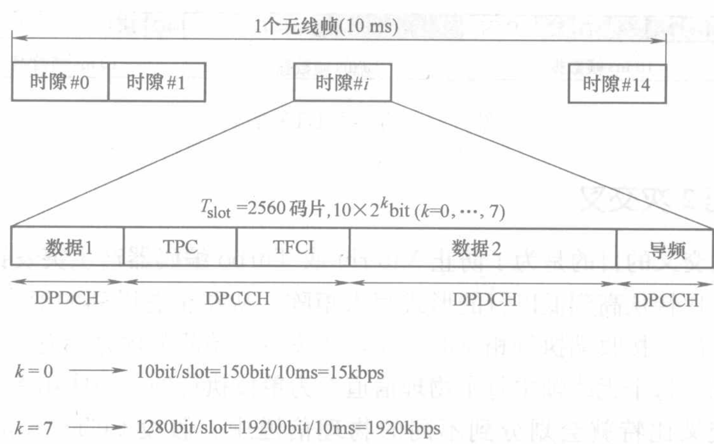


图 7-23　下行专用物理信道结构

7.5.11　扩频与扰码

在下行链路中，所有物理信道（除了同步信道）都会通过各自的 OVSF 码进行扩频，然后利用相同的扰码进行扰码操作。图 7-24 给出了扩频和扰码操作的示意图。在图 7-24 中，物理信道中的比特首先进行串-并转换；串-并转换之后，比特流就变成了符号，其中两个比特形成一个符号对；同时，信道速率降为原先的一半，范围为 7.5～960kbit/s。对于每一对符号来说，其中一个符号发送到 I 路径，另一个发送到 Q 路径。这些符号稍后利用相同 OVSF 码进行扩频，扩频之后，符号就变成了码片，码片速率为 3.84 Mcps。Q 路径中码片的相位先调整 90°，再与 I 路径中的码片进行合并，这样就形成了一个复值物理信道信号（码片流），该信号之后利用相同扰码进行扰码操作。

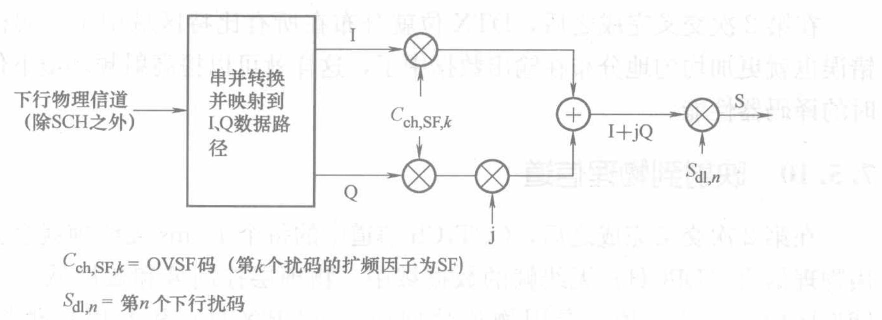


图 7-24　扩频和扰码操作

在进行扰码操作之后，物理信道信号会与同步信道信号一起求和，并发送到调制器中进行调制操作，其中同步信道信号不进行扰码操作，图 7-25 描述了这

个过程。在图7-25中，下行链路物理信道的加权因子为G_1，G_2，…，G_N，主同步信道和次同步信道的加权因子分别为G_p和G_s。

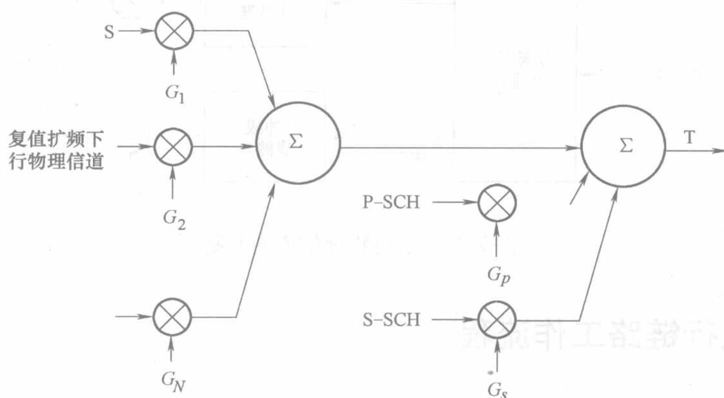


图7-25 下行物理信道的合并

下行OVSF码和扰码的排列

除了同步信道之外，每个下行物理信道都指定了一个OVSF码。有些信道的OVSF码是固定的，例如CPICH和PCCPCH信道始终分别使用$C_{ch,256,0}$和$C_{ch,256,1}$，这两个信道的扩频因子固定在256，也就是说，CPICH和PCCPCH信道始终工作在30kbit/s。其他所有物理信道（如DPCH和SCCPCH信道）的OVSF码由UTRAN指定，在这些信道中，OVSF码的扩频因子由数据速率决定：数据速率越高的信道，其指定OVSF码的扩频因子越小；数据速率越低的信道，其指定OVSF码的扩频因子越大。例如，扩频因子4表示每个符号中包含4个码片，扩频因子256表示每个符号中包含256个码片。其中，前者的数据速率是后者的64倍。由于OVSF码具有正交特性，所以如果使用指定OVSF代码树族分支中的OVSF码，那么该OVSF码的上一代OVSF码和下一代OVSF码就不能使用。

每个蜂窝单元（扇区）都会被指定一个惟一的主扰码来实现对物理信道的扰码操作。如果利用PSC码实现扰码操作的OVSF码在同一个蜂窝单元中还将重复使用，那么就需要应用次扰码。

7.5.12 调制

当扰码和求和操作完成之后，经过QPSK调制就可以发送复值码片流。如图7-26所示，复值码片流首先会分解成一个实部和一个虚部，之后实部和虚部会分别通过一个上升根余弦滤波器来实现脉冲成形；然后，实部和虚部分别与一个同相位信号和一个正交相位信号混合，混合器输出的信号之后合并在一起发送。

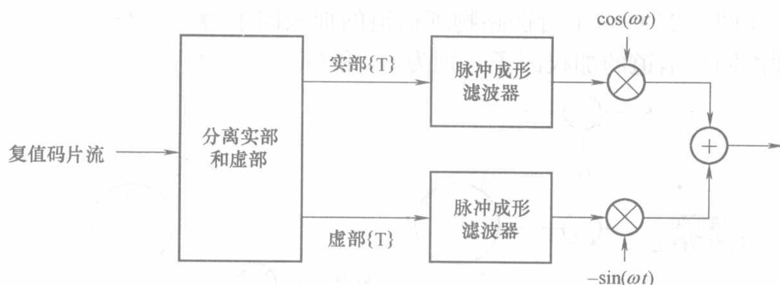


图 7-26　下行物理信道的调制

7.6　上行链路工作流程

上行链路工作流程也是以从 MAC 层接收传输信道数据开始，并以向空中发送物理信道结束。如图 7-27 所示，上行链路工作流程由很多步骤组成，包括 CRC 的附着、传输块的级联、数据流分割成代码块、信道编码、无线帧均匀化、首次交叉、传输信道分割成 10 ms 的无线帧、速率匹配、传输无线帧复用成 CCTrCh 信道、第 2 次交叉、映射到物理信道、物理信道利用 OVSF 码进行扩

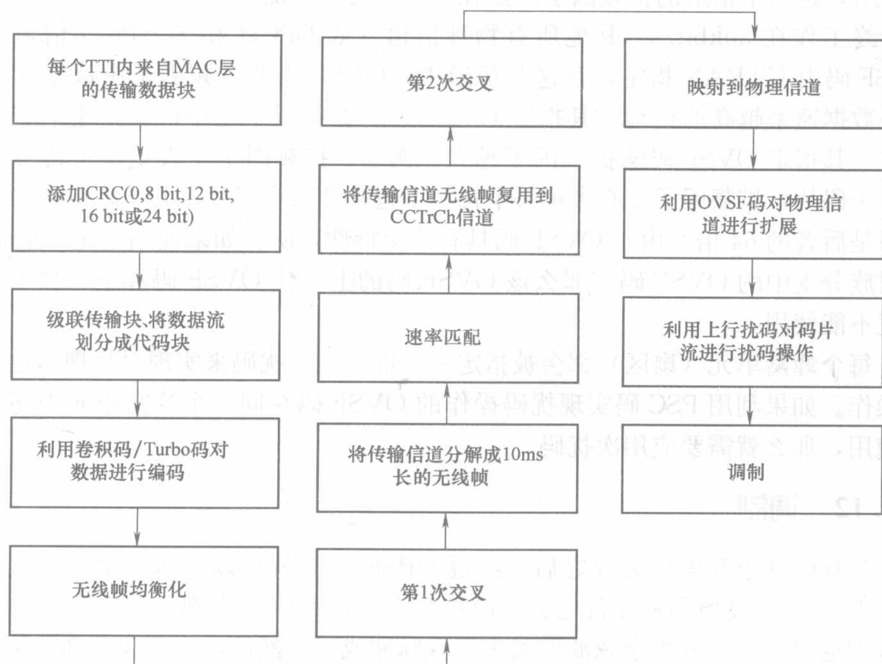


图 7-27　上行链路工作流程

频、利用上行扰码进行物理信道扰码操作以及调制。在调制之后，信号就可以在空中进行发送，同时结束上行物理工作流程。

上行链路与下行链路工作流程之间的主要区别在于无线帧均匀化、速率匹配、映射到物理信道、扩频和扰码等步骤。在接下来的内容中，我们将详细讨论这些不同的步骤。

7.6.1 无线帧均衡化

无线帧均衡化过程是指在首次交叉操作之前添加 0～7 个填充比特，无线帧均衡化的目的是为了确保在任何 TTI 时间内数据比特可以均匀地分割成无线帧，以便在无线帧分割步骤中具有相同的比特数。由于最大的 TTI 为 80 ms，因此首次交叉矩阵中的最大列数为 8。如果矩阵存在空位，那么填充比特就会添加到底部。因此，可能的填充比特为 0～7。

7.6.2 速度匹配

速度匹配步骤是必需的，因为不同传输信道上的比特速率各有不同，而且一个逻辑信道的比特速率在不同的 TTI 内也可能会发生变化。如果上行链路中不同 TTI 内的比特数不同的话，那么这些比特将会被复制或删除，以确保传输信道复用之后的总比特速率与分配的专用物理信道的比特速率相同。上行链路和下行链路之间的主要区别在于上行链路中没有 DTX 插入。因此，当 TFC 变化时，所有传输信道的比特数可能会发生变化，从而直接导致进行相应的速率匹配。

7.6.3 映射到物理信道

在第 2 次交叉完成之后，CCTrCh 信道上的每个 10 ms 无线帧就会被分配到一个 PRACH 信道或 DPDCH 信道中。对于随机接入信道来说，CCTrCh 信道中传输信道的数量为 1；对于专用信道来说，CCTrCh 信道中传输信道的数量由 UE 容量等级决定。

在 7.7 节中提到过，在上行链路中，专用物理控制信道（DPCCH）通过不同的 OVFS 码和固定扩频因子 256 承载了各个物理层控制域。物理层控制域包括 TFCI、导频位、下行 TPC 命令以及反馈指示比特（Feedback Indicator Bit，FIB）。DPCCH 信道和 DPDCH 信道是两个独立的信道，即使 DPDCH 信道不发送数据，DPCCH 信道也仍然处于活动状态。

7.6.4 扩频与扰码

与下行物理信道类似，上行物理信道也是利用各自的 OVSF 码来扩展码片速率，然后利用相同的 OVSF 码来实现扰码。在上行链路中，DPCCH 信道始终

处于Q路径中，而DPDCH信道既可以位于I路径，也可以位于Q路径中。如果只有一个DPDCH信道，那么该信道就位于I路径中。图7-28给出了上行链路的扩频和扰码示意图。

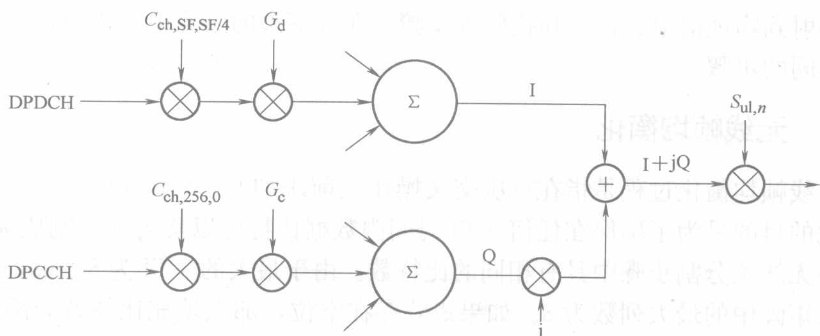


图7-28　上行链路的扩频和扰码

在图7-28中，G_d和G_c分别为上行链路的数据和控制加权因子；$S_{ul,n}$是上行物理信道的第n个扰码，其中，n是2^{24}个代码中的一个。

上行OVSF码和扰码的排列

在上行链路中，DPCCH信道和DPDCH信道使用独立的OVSF码和相同或不同的扩频因子（其中，DPDCH信道始终使用$C_{ch,256,0}$）。对于DPDCH信道来说，代码数与扩频因子（Spreading Factor，SF）有关，其关系式为代码数=SF/4。因此，上行DPDCH信道的OVSF码为$C_{ch,SF,SF/4}$。UE可以使用与最小扩频因子相等或更大的扩频因子，最小扩频因子由UTRAN RRC在上行DPCH信道信息IE中标识。

上行链路的扰码通常用来区分各个UE。每个UE使用一个上行扰码，该扰码也由UTRAN RRC在上行DPCH信道信息IE中标识。与下行扰码一样，上行扰码也每隔10 ms重复一次。

7.7　物理信道结构和信道时域结构

在下行链路中，物理信道包含了主公共控制物理信道（Primary Common Control Physical Channel，PCCPCH）、次公共控制物理信道（Secondary Common Control Physical Channel，SCCPCH）、公共导频信道（Common Pilot Channel，CPICH）、主同步信道（Primary Synchronization Channel，P-SCH）、次同步信道（Secondary Synchronization Channel，S-SCH）、寻呼指示信道（Paging Indicator Channel，PICH）、捕获指示信道（Acquisition Indicator Channel，AICH）和下行专用物理信道（DPCH）。其中，DPCH信道由专用物理数据信道（Dedicated Physical

Data Channel，DPDCH）和专用物理控制信道（Dedicated Physical Control Channel，DPCCH）组成。在上行链路中，物理信道包括物理随机接入信道（Physical Random Access Channel，PRACH）、上行专用物理数据信道和上行专用物理控制信道。接下来将详细介绍这些物理信道的结构和信道时域结构。

7.7.1 PCCPCH 信道

PCCPCH 信道是一个下行物理信道，用来承载 BCH 传输信道。BCH 信道承载了各种系统信息，并负责广播到整个蜂窝单元覆盖区域，每个蜂窝单元只有一个 PCCPCH 信道。PCCPCH 信道具有 30kbit/s 的固定信道速率，并使用 OVSF 码 $C_{ch,256,1}$。图 7-29 给出了 PCCPCH 信道的帧结构示意图。PCCPCH 信道中帧结构的每一个时隙中包含了一个 18 位的数据域。但是，在每个时隙的前 256 个码片中，不包含任何属于 PCCPCH 信道的信息；也就是说，每个时隙的前 256 个码片中，PCCPCH 信道处于 DTX 状态。换句话说，PCCPCH 信道在每个时隙的前 256 个码片时间内不发送任何数据。在这段时间内，换成了 P-SCH 信道和 S-SCH 信道发送数据。事实上，PCCPCH 信道和 SCH 信道是时分复用的，它们不能同时发送数据。

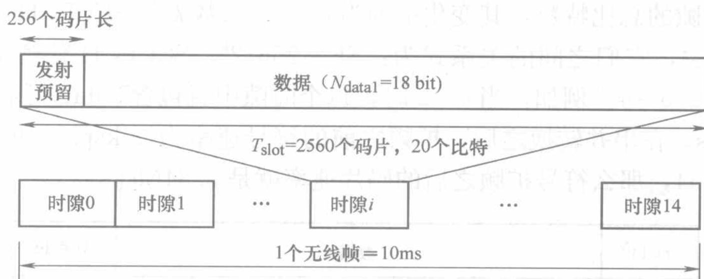


图 7-29 PCCPCH 信道的帧结构

PCCPCH 信道是按照 S-SCH 信道的时隙编号 0 排列的，如图 7-30 所示。在图 7-30 中，次同步码标识为 $C_s^{i,k}$，其中 i 是扰码组的数量，i＝0，1，…，63；

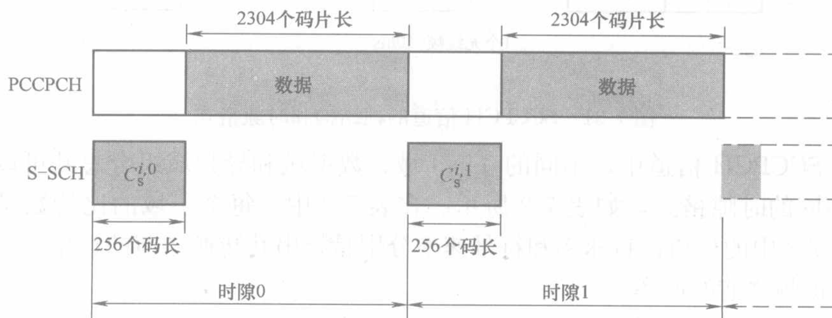


图 7-30 PCCPCH 和 S-SCH 信道的时域结构

k是时隙数，k=0，1，…，14。

7.7.2　SCCPCH信道

SCCPCH信道通常用来承载FACH和PCH传输信道。其中，当UE处于Cell_FACH状态时，使用FACH传输信道；当UE处于空闲状态、URA_PCH或Cell_PCH状态时，使用PCH传输信道。FACH传输信道负责承载发送到UE的控制信令和短用户数据，同时还承载发送到UE的RRC连接建立消息，用来建立呼叫。PCH传输信道负责承载发送给UE的寻呼公告。

一个蜂窝单元（扇区）可以传输高达16个SCCPCH信道，FACH和PCH信道可以由相同的SCCPCH信道承载，也可以由不同的SCCPCH信道承载。SCCPCH信道包含两种类型，其中一种包含TFCI，另一种不包含TFCI。SC-CPCH信道利用TFCI可以支持多种传输格式合并。UTRAN负责决定TFCI是否需要发送，但所有的UE必须支持使用TFCI。

图7-31给出了SCCPCH信道的帧结构和时隙格式[3]。其中，时隙格式中包含了3个子域：TFCI域、数据域和导频域。在图7-31中，参数k负责确定每个SCCPCH时隙的总比特数，其变化范围为0～6；参数k与SCCPCH信道的扩频因子密切相关，它们之间的关系式为：$SF=256/2^k$。SCCPCH信道的扩频因子变化范围为256～4。例如，当$k=2$时，每个时隙中就包含80bit，因此比特速率为120kbit/s。在串并转换之后，扩频之前的符号速率为60ksps。如果扩频因子为$256/2^2=64$，那么符号扩频之后的码片速率就是3.84Mcps。

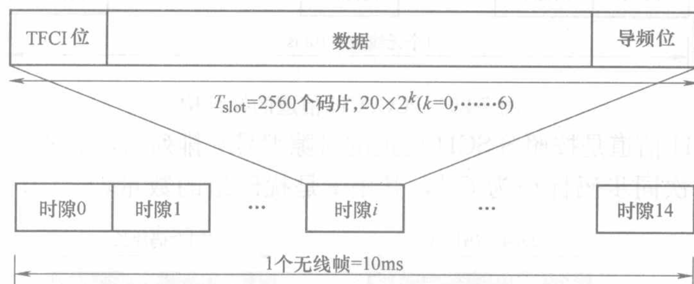


图7-31　SCCPCH信道的帧结构和时隙格式

在SCCPCH信道中，不同的TFCI域、数据域和导频域组合总共可以得到18种不同的时隙格式，如表7-2所示。在表7-2中，每个子域的比特数是给定的。表7-2中的信道比特速率和符号速率分别是指串并转换之前的速率和串并转换之后扩频之前的速率。

导频域的长度可以是0、8和16位，具体的导频样式读者可以查阅参考文献[3]，半数的时隙格式并不具有导频位。

如前所述，FACH和PCH信道可以映射到相同的或不同的SCCPCH信道。如果FACH和PCH信道映射到相同的SCCPCH信道，那么它们就可以映射到相同的帧中。PCCPCH信道和SCCPCH信道的主要区别在于，映射到PCCPCH信道上的传输信道（BCH）具有固定的预定义传输格式合并，而SCCPCH信道利用TFCI可以支持多种传输格式合并。另外，SCCPCH信道没有功率控制。因此，SCCPCH信道上传输的都是很短的消息。

对于信道时域结构，每个SCCPCH信道都可能会与PCCPCH信道存在一定的偏差，偏差量通常是256个码片的整数倍。

表7-2 SCCPCH信道的时域格式（引用已经过ETSI允许）

时域格式编号	信道比特速率/(kbit/s)	信道符号速率/(kbit/s)	扩频因子	每帧中的比特数	每个时隙中的比特数	N_{data1}	N_{pilot}	N_{TFCI}
0	30	15	256	300	20	20	0	0
1	30	15	256	300	20	12	8	0
2	30	15	256	300	20	18	0	2
3	30	15	256	300	20	10	8	2
4	60	30	128	600	40	40	0	0
5	60	30	128	600	40	32	8	0
6	60	30	128	600	40	38	0	2
7	60	30	128	600	40	30	8	2
8	120	60	64	1200	80	72	0	8①
9	120	60	64	1200	80	64	8	8①
10	240	120	32	2400	160	152	0	8①
11	240	120	32	2400	160	144	8	8①
12	480	240	16	4800	320	312	0	8①
13	480	240	16	4800	320	296	16	8①
14	960	480	8	9600	640	632	0	8①
15	960	480	8	9600	640	616	16	8①
16	1920	960	4	19200	1280	1272	0	8①
17	1920	960	4	19200	1280	1256	16	8①

① 如果不使用TFCI比特，那么TFCI域中必须使用DTX。

7.7.3 SCH信道

SCH信道由两个子信道组成：主同步信道（P-SCH）和次同步信道（S-SCH）。这两个子信道采取不同的信道编码方式，其中主同步码只有1种，而

次同步码有16种。P-SCH信道采用主同步码 C_p 进行编码，而S-SCH信道采用次同步码 $C_s^{i,k}$ 进行编码。其中 $C_s^{i,k}$ 的下角标s表示次同步；上角标 i 表示第 i 个扰码序列（$i=0$，1，…，63），上角标 k 表示第 k 个时隙（$k=0$，1，…，14）。关于次同步码的具体内容，读者可参考7.3节。

如图7-32所示，P-SCH信道和S-SCH信道在每个时隙的开始处同时发送。系统中，每个蜂窝单元和每个时隙的P-SCH码都是相同的。对于S-SCH信道来说，无线帧中发送一个15位的次同步码序列，每个时隙对应一个次同步码。主同步码和次同步码是通过符号 a 进行调制的，符号 a 说明了PCCPCH信道上STTD编码是否存在，如图7-33所示。如果PCCPCH信道是采用STTD编码，那么数值 a 等于1；如果PCCPCH信道不是采用STTD编码，那么数值 a 等于−1[3]。

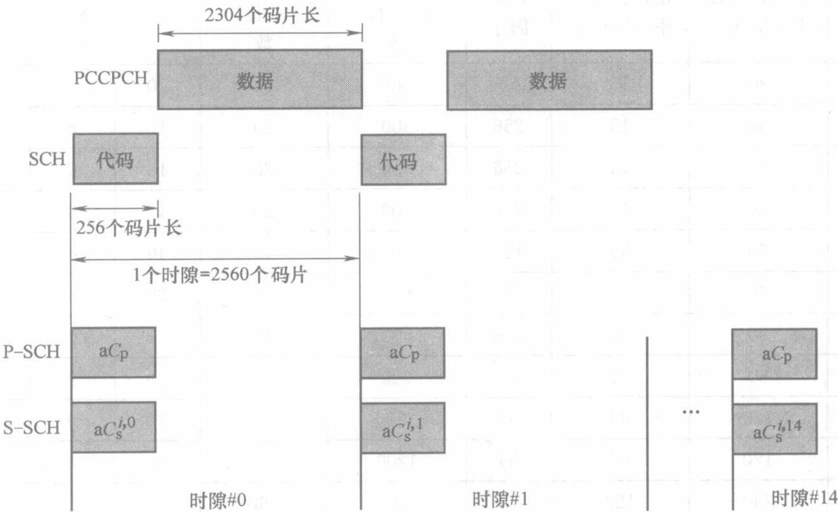


图7-32　同步信道

次同步码序列有64种不同的类型，分别为序列0～序列63，每个序列对应了一个扰码组。表7-3给出了SCH信道的次同步码分配方案，从表中可以看出，同一个码序列中的次同步码可以重复出现。例如，在序列0中，有7个重复的次同步码，而在序列6中就没有重复的次同步码。

表7-3　SCH信道的次同步码分配方案

扰码组	时隙编号														
	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14
0	1	1	2	8	9	10	15	8	10	16	2	7	15	7	16
1	1	1	5	16	7	3	14	16	3	10	5	12	14	12	10
2	1	2	1	15	5	5	12	16	6	11	2	16	11	15	12

（续）

扰码组	时隙编号														
	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14
3	1	2	3	1	8	6	5	2	5	8	4	4	6	3	7
4	1	2	16	6	6	11	15	5	12	1	15	12	16	11	2
5	1	3	4	7	4	1	5	5	3	6	2	8	7	6	8
6	1	4	11	3	4	10	9	2	11	2	10	12	12	9	3
7	1	5	6	6	14	9	10	2	13	9	2	5	14	1	13
8	1	6	10	10	4	11	7	13	16	11	13	6	4	1	16
9	1	6	13	2	14	2	6	5	5	13	10	9	1	14	10
10	1	7	8	5	7	2	4	3	8	3	2	6	6	4	5
11	1	7	10	9	16	7	9	15	1	8	16	8	15	2	2
12	1	8	12	9	9	4	13	16	5	1	13	5	12	4	6
13	1	8	14	10	14	1	15	15	8	5	11	4	10	5	4
14	1	9	2	15	15	16	10	7	8	1	10	8	2	16	9
15	1	9	15	6	16	2	13	14	10	11	7	4	5	12	3
16	1	10	9	11	15	7	6	4	16	5	2	12	13	3	14
17	1	11	4	4	13	2	9	10	12	16	8	5	3	15	6
18	1	12	12	13	14	7	2	8	14	2	1	13	11	8	11
19	1	12	15	5	4	14	3	16	7	8	6	2	10	11	13
20	1	15	4	3	7	6	10	13	12	5	14	16	8	2	11
21	1	16	3	12	11	9	13	5	8	2	14	7	4	10	15
22	2	2	5	10	16	11	3	10	11	8	5	13	3	13	8
23	2	2	12	3	15	5	8	3	5	14	12	9	8	9	14
24	2	3	6	16	12	16	3	13	13	6	7	9	2	12	11
25	2	3	8	2	9	15	14	3	14	9	5	5	15	8	12
26	2	4	7	9	5	4	9	11	2	14	5	14	11	16	16
27	2	4	13	12	12	7	1	10	5	2	15	5	13	7	4
28	2	5	9	9	3	12	8	14	15	12	14	5	3	2	15
29	2	5	11	7	2	11	9	4	16	7	16	9	14	4	4
30	2	6	2	13	3	3	12	9	7	16	6	9	16	13	12
31	2	6	9	7	7	16	13	3	12	2	13	12	9	16	6
32	2	7	12	15	2	12	4	10	13	15	13	4	5	5	10
33	2	7	14	16	5	9	2	9	16	11	11	5	7	4	14

（续）

扰码组	时隙编号														
	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14
34	2	8	5	12	5	2	14	14	8	15	3	9	12	15	9
35	2	9	13	4	2	13	8	11	6	4	6	8	15	15	11
36	2	10	3	2	13	16	8	10	8	13	11	11	16	3	5
37	2	11	15	3	11	6	14	10	15	10	6	7	7	14	13
38	2	16	4	5	16	14	7	11	4	11	14	9	9	7	5
39	3	3	4	6	11	12	13	6	12	14	4	5	13	5	14
40	3	3	6	5	16	9	15	5	9	10	6	4	15	4	10
41	3	4	5	14	4	6	12	13	5	13	6	11	11	12	14
42	3	4	9	16	10	4	16	15	3	5	10	5	15	6	6
43	3	4	16	10	5	10	4	9	9	16	15	6	3	5	15
44	3	5	12	11	14	5	11	13	3	6	14	6	13	4	4
45	3	6	4	10	6	5	9	15	4	15	5	16	16	9	10
46	3	7	8	8	16	11	12	4	15	11	4	7	16	3	15
47	3	7	16	11	4	15	3	15	11	12	12	4	7	8	16
48	3	8	7	15	4	8	15	12	3	16	4	16	12	11	11
49	3	8	15	4	16	4	8	7	7	15	12	11	3	16	12
50	3	10	10	15	16	5	4	6	16	4	3	15	9	6	9
51	3	13	11	5	4	12	4	11	6	6	5	3	14	13	12
52	3	14	7	9	14	10	13	8	7	8	10	4	4	13	9
53	5	5	8	14	16	13	6	14	13	7	8	15	6	15	7
54	5	6	11	7	10	8	5	8	7	12	12	10	16	9	11
55	5	6	13	6	13	5	7	7	6	16	14	15	8	16	15
56	5	7	9	10	7	11	6	12	9	12	11	8	8	6	10
57	5	9	6	8	10	9	8	12	5	11	10	11	12	7	7
58	5	10	10	12	8	11	9	7	8	9	5	12	6	7	6
59	5	10	12	6	5	12	8	9	7	6	7	8	11	11	9
60	5	13	15	15	14	8	6	7	16	8	7	13	14	5	16
61	9	10	13	10	11	15	15	9	16	12	14	13	16	14	11
62	9	11	12	15	12	9	13	13	11	14	10	16	15	14	16
63	9	12	10	15	13	14	9	14	15	11	11	13	12	16	10

P-SCH 信道支持时隙结构，通常用来标识 WCDMA 系统中 UE 的初始捕获过程的时隙起点；而 S-SCH 信道支持帧结构，扰码组标识用来将主扰码（PSC）搜索空间从 512 减小至 8。

7.7.4 CPICH 信道

CPICH 信道是一个固定速率的下行物理信道，其数据速率为 30kbit/s，扩频因子为 256。CPICH 信道负责承载一个预定义的比特序列，图 7-33 给出了 CPICH 信道的帧结构示意图[3]。

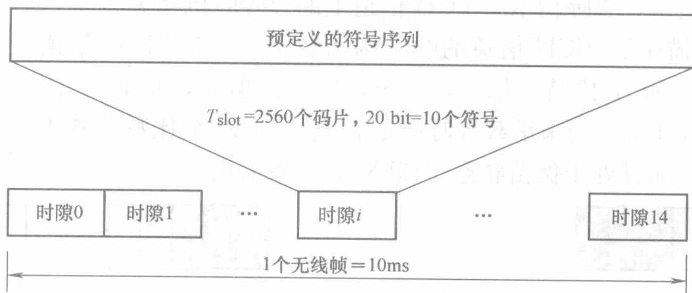


图 7-33 CPICH 信道的帧结构

CPICH 信道提供了蜂窝单元中的时间参考结构。CPICH 信道包含两种类型：主 CPICH 信道（P-CPICH）和次 CPICH 信道（S-CPICH），这两种 CPICH 信道的用途和物理特征各不相同。

P-CPICH 信道提供了 SCH、PCCPCH、AICH、SCCPCH、CPCH、DPCH、PDSCH、HS-PDSCH 和 HS-SCCH 信道的相位参考结构。如果 P-CPICH信道不是下行 DPCH 信道和任何相关 PDSCH、HSPDSCH 和 HS-SCCH 信道的相位参考信道，那么高层信令会将此告知 UE。

在每个蜂窝单元（扇区）中，只有一个 P-CPICH 信道，该信道在整个蜂窝单元中广播。P-CPICH 信道始终使用相同的 OVSF 码 $C_{ch,256,0}$[4]，P-CPICH 信道是通过主扰码来实现扰码操作的。

S-CPICH 信道可以使用扩频因子为 256 的任意 OVSF 码，而且既可以通过主扰码实现扰码操作，也可以通过次扰码实现扰码操作。一个蜂窝单元中可以具有 0 个、1 个或多个 S-CPICH 信道。S-CPICH 信道可以在整个蜂窝单元中广播，也可以只在蜂窝中的一部分区域广播。因此，S-CPICH 信道可以与智能天线技术结合在一起使用，从而实现蜂窝单元中指定区域的能量发射。当 S-CPICH 信道通过不同的扰码进行扰码操作时，所有曾经使用过的 OVSF 码都可以再次使用。

7.7.5 PICH信道

寻呼指示信道（PICH）也是一个固定速率的下行物理信道，其扩频因子为256。PICH信道通常用来承载寻呼指示（PI），而且始终与一个SCCPCH信道相关，其中PCH传输信道就是映射到该SCCPCH信道。PICH信道通常用来延长UE的电池寿命。在空闲模式、URA_PCH状态和Cell_PCH状态下，UE在寻呼周期之间是处于休眠状态的；当UE“苏醒”时，主要用来监听PICH信道上的指定PI。寻呼指示负责通知UE在传输PCH信道上有一个发送给UE的消息。也就是说，寻呼指示与PCH信道上的寻呼时机相关。

图7-34描述了PICH信道的帧结构示意图[3]。在PICH信道上，每个无线帧中包含了300个比特（b_0，b_1，…，b_{299}）。但是，只有其中前288个比特（b_0，b_1，…，b_{287}）用来承载寻呼指示，剩下的12个比特形式上不是PICH信道的一部分，而且处于保留状态（DTX），以备后用。

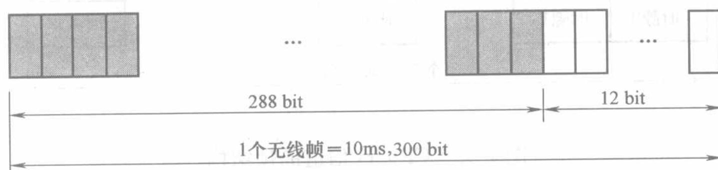


图7-34　PICH信道的帧结构

在每个PICH信道帧中，有N_p个寻呼指示（P_0，…，P_{N_p-1}），其中N_p＝18、36、72或144，对应的每个寻呼指示中可能包含16bit、8bit、4bit或2bit。例如，如果N_p＝18，那么每个寻呼指示中就包含16bit。

PICH信道通常比SCCPCH信道超前T_{pich}位，其中T_{pich}等于3个时隙或7680个码片。

UE必须监控其中一个寻呼指示，称为P_q，其中q是由RRC根据SFN、N_p和PI的值来计算的，其数学计算公式为[3]

$$q=\left(\mathrm{PI}+\left[\left\{\left[18\times(\mathrm{SFN}+[\mathrm{SFN}/8]+[\mathrm{SFN}/64]+[\mathrm{SFN}/512])\right]\bmod 144\times\frac{N_p}{144}\right\}\right]\right)\bmod N_p \tag{7-4}$$

式中，PI由式（4-4）给定；SFN是指寻呼时机，由式（4-3）给定。

如果某个PICH信道无线帧中的寻呼指示为－1，那么它就说明该寻呼指示与UE相关，而且UE必须读取与相应SCCPCH信道相关的无线帧，该SC-CPCH信道比PICH信道落后T_{pich}位。换句话说，PICH信道比SCCPCH信道提前T_{pich}位发送，其中T_{pich}等于3个时隙或7680个码片。

PI和SFN用来计算PICH信道上寻呼指示位的位置，这样在每次PICH信

道被监控时，指定 IMSI 在 PICH 帧内的比特位置就会产生移动。因此，无论 UE 的 PICH 信道比特位置是接近还是远离相关 SCCPCH 信道帧的帧边界，所有 UE 必须拥有相同的备用性能。

7.7.6 AICH 信道

捕获指示信道（AICH）也是一个固定速率的下行物理信道，其扩频因子为 256。AICH 信道通常用来承载捕获指示（AI），AI 用来确认物理随机接入信道（PRACH）上的前导部分是否已经被 UE 检测到，如果已经被检测到，PRACH 消息就可以发送了。网络也可以发送一个反向确认消息（反向 ACK 或 NACK），用来说明尽管前导部分已经被检测到，但是此时 UE 还不能发送 PRACH 消息。其中，AI 利用 1 来表示正向 ACK，−1 表示反向 ACK，0 表示没有信息发送。

AICH 信道拥有 16 个标签，这些标签与 PRACH 信道上的上行标签对应。AICH 信道上的标签代码与 PRACH 信道上的标签代码完全相同，但是每个比特只重复一次。

图 7-35 描述了 AICH 信道的结构示意图[3]，一个 AICH 信道帧由一个包含 15 个连续接入时隙（Access Slot，AS）的重复序列组成。其中，每个接入时隙的长度为 5120 个码片，但是，只有前 4096 个码片（实际的捕获指示部分）用来承载 AI，剩下的 1024 个码片形式上不是 AICH 信道的一部分，而且处于保留状态（DTX），以备后用。捕获指示部分由 32 个实值符号（a_0，a_1，…，a_{31}）组成，DTX 部分被保留，以备其他物理信道使用。AICH 信道的第 1 个接入时隙与 S-SCH 信道的第 1 个时隙处于并列位置。

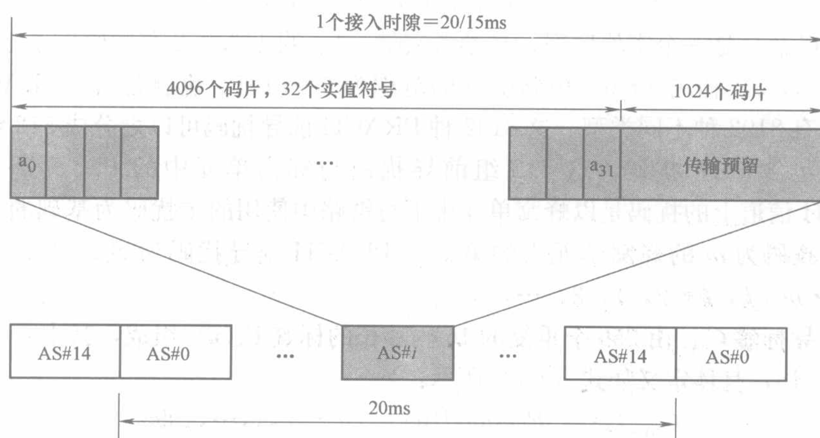


图 7-35 AICH 信道的结构

7.7.7 PRACH 信道

物理随机接入信道（PRACH）是一个上行物理信道，通常用来承载 RACH 信道。UE 利用 RACH 信道来接入系统。RACH 信道中包含两个部分：RACH 前导和 RACH 消息，这两部分都由 PRACH 信道承载。其中，RACH 前导的长度为 4096 个码片，由 256 个重复的 16 码片长标签组成，其中总共包含 16 个有效标签；RACH 消息的长度可能是 10 ms 或 20 ms。每个随机接入传输过程由一个或多个前导和一个长度为 10 ms 或 20 ms 的消息组成，如图 7-36 所示[3]。

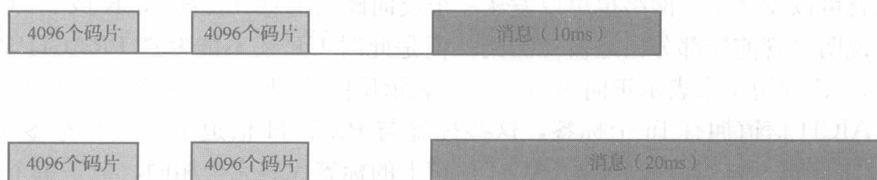


图 7-36　随机接入传输过程

1. PRACH 前导

PRACH 信道的前导部分是一个包含 4096 个码片的复值序列，该序列由前导扰码和前导标签确定，如式（7-5）所示：

$$P_{\mathrm{pre},n,s}(k) = S_{\mathrm{r-pre},n}(k)C_{\mathrm{sig},s}(k)\exp\{\mathrm{j}[\pi/4+(\pi/2)k]\} \qquad k=0,1,\cdots,4095 \tag{7-5}$$

式中，第 n 个前导扰码 $S_{\mathrm{r-pre},n}(i)$ 是由长扰码序列构成的，如式（7-6）所示：

$$S_{\mathrm{r-pre},n}(i) = C_{\mathrm{long},1,n}(i) \quad i=0,1,\cdots,4095 \tag{7-6}$$

式中，$C_{\mathrm{long},1,n}$是一个实值序列，在参考文献［4］的 4.3.2.2 节中给出了定义。

式（7-5）和式（7-6）中索引 n 的范围为 0～8191，也就是说，PRACH 前导扰码有 8192 种不同类型。这 8192 种 PRACH 前导扰码可以划分成 512 组，每一组中包含 16 个扰码，这 512 组前导扰码与蜂窝单元中的 PSC 一一对应。PRACH 信道上的扰码是以蜂窝单元中下行链路中使用的主扰码为基础的。下行链路主扰码为 m 的蜂窝单元中的第 k 个 PRACH 前导扰码为 $S_{\mathrm{r-pre},n}(i)$，其中 $n=16 \cdot m+k$，$k=0$，1，2，…，511。

前导标签 $C_{\mathrm{sig},s}$由 256 个重复的 16 码片长的标签 $P_s(n)$ 组成，其中 $n=0$，1，2，…，15，具体定义如式（7-7）所示：

$$C_{\mathrm{sig},s}(i) = P_s(i\bmod 16) \qquad i=0,1,\cdots,4095 \tag{7-7}$$

标签 $P_s(n)$ 是一个 Hadamard 序列，该序列来自矩阵 $\boldsymbol{H}_4$，矩阵 $\boldsymbol{H}_4$ 由式（7-1）和式（7-2）生成，在 7.3 节中给出了定义。Hadamard 序列总共包含 16 种类型，如表 7-4 所示。

表 7-4 PRACH 前导标签（引用已经过 ETSI 允许）

前导标签	*n*															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_0(n)$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$P_1(n)$	1	−1	1	−1	1	−1	1	−1	1	−1	1	−1	1	−1	1	−1
$P_2(n)$	1	1	−1	−1	1	1	−1	−1	1	1	−1	−1	1	1	−1	−1
$P_3(n)$	1	−1	−1	1	1	−1	−1	1	1	−1	−1	1	1	−1	−1	1
$P_4(n)$	1	1	1	1	−1	−1	−1	−1	1	1	1	1	−1	−1	−1	−1
$P_5(n)$	1	−1	1	−1	−1	1	−1	1	1	−1	1	−1	−1	1	−1	1
$P_6(n)$	1	1	−1	−1	−1	−1	1	1	1	1	−1	−1	−1	−1	1	1
$P_7(n)$	1	−1	−1	1	−1	1	1	−1	1	−1	−1	1	−1	1	1	−1
$P_8(n)$	1	1	1	1	1	1	1	1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1
$P_9(n)$	1	−1	1	−1	1	−1	1	−1	−1	1	−1	1	−1	1	−1	1
$P_{10}(n)$	1	1	−1	−1	1	1	−1	−1	−1	−1	1	1	−1	−1	1	1
$P_{11}(n)$	1	−1	−1	1	1	−1	−1	1	−1	1	1	−1	−1	1	1	−1
$P_{12}(n)$	1	1	1	1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	1	1	1	1
$P_{13}(n)$	1	−1	1	−1	−1	1	−1	1	−1	1	−1	1	1	−1	1	−1
$P_{14}(n)$	1	1	−1	−1	−1	−1	1	1	−1	−1	1	1	1	1	−1	−1
$P_{15}(n)$	1	−1	−1	1	−1	1	1	−1	−1	1	1	−1	1	−1	−1	1

2. PRACH 消息

RACH 消息的长度可以是 10 ms 或 20 ms。图 7-37 给出了随机接入消息部分无线帧的结构，该无线帧的长度为 10 ms[3]。10 ms 长的消息无线帧分解成了 15 个时隙，每个时隙的长度为 2560 个码片。每个时隙由一个数据部分（RACH 传输信道映射到该部分）和一个控制部分（承载了物理层控制信息）组成，数据部分和控制部分是并行发送的。

10 ms 长的随机接入消息部分由一个消息无线帧构成，而 20 ms 长的随机接

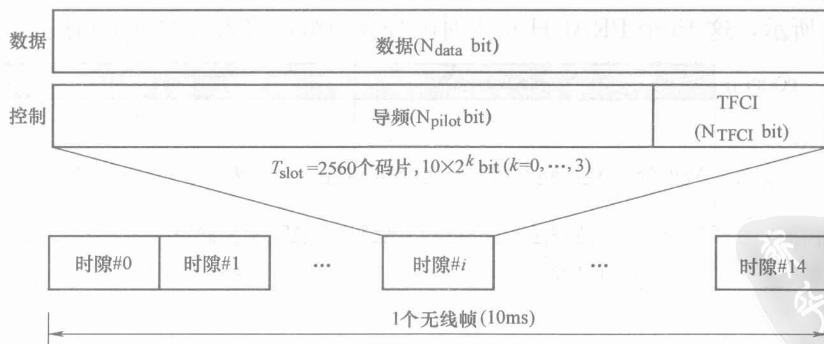


图 7-37 随机接入消息部分无线帧的结构（引用已经过 ETSI 允许）

入消息部分由两个连续的消息无线帧构成。消息部分的长度等于RACH传输信道的TTI，TTI的长度由高层配置。

在每个时隙中，数据部分包含了10×2k个比特，其中k=0、1、2和3，分别对应了消息部分的数据速率15kbit/s、30kbit/s、60kbit/s和120kbit/s，以及扩频因子256、128、64和32。控制部分是由8个已知的导频比特和2个TFCI比特组成，其中导频比特用来支持信道的连贯性检测评估，对应的消息控制部分的扩频因子为256。不同时隙的导频比特也各不相同，具体内容如参考文献［3］中表8所示。

10 ms消息无线帧中的TFCI比特总数量为15×2=30。无线帧的TFCI用来说明RACH传输信道的传输格式，该RACH传输信道映射到同时发送的消息部分无线帧中的数据部分。如果RACH消息部分的长度为20 ms，TFCI在第2个10 ms无线帧中将重复出现。

PRACH消息部分使用长度为10 ms的扰码，PRACH消息总共有8192种不同的扰码。PRACH消息部分扰码（$S_{r-msg,n}$，其中n=0，1，…，8191）是以长扰码序列为基础的，其数学关系如（7-8）所示：

$$S_{r-msg,n}(i) = C_{long,n}(i+4096) \quad i = 0,1,\cdots,38399 \tag{7-8}$$

其中，最小的索引对应了第1个发送的码片，$C_{long,n}$在参考文献［4］中给出了定义。

消息部分扰码与前导扰码之间具有一对一的对应关系。PRACH前导和PRACH消息使用相同的扰码编号，也就是说，如果PRACH前导扰码为$S_{r-pre,j}$，那么PRACH消息部分的扰码就是$S_{r-msg,j}$，其中j就是两者共用的。

3. PRACH前导和AICH信道之间的时间关系

根据具有快速捕获指示的时隙ALOHA方法，UE可以在PRACH接入时隙的起点处启动一个随机接入操作。每两个10 ms的无线帧中包含了15个时隙，每个时隙的长度为5120个码片，换句话说，每20 ms内就有15个接入时隙。如图7-38所示，这15个PRACH接入时隙分为两组：接入时隙组1和接入时隙组

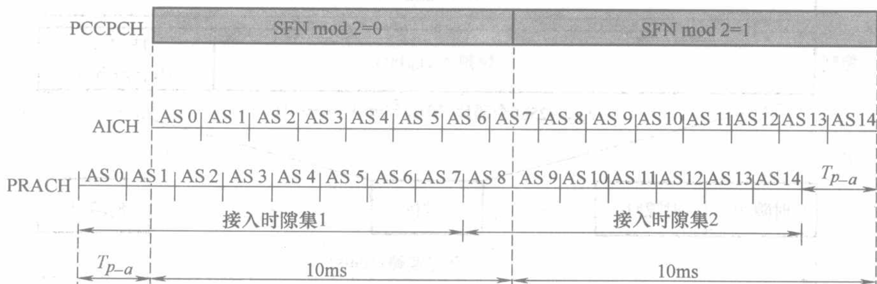


图7-38　PRACH前导和AICH信道之间的时间关系

2。其中，接入时隙组 1 中包含了 PRACH 0～7，并且在 PCCPCH 帧之前 T_{p-a} 个码片的位置启动（此时 SFN mod 2＝0）；接入时隙组 2 中包含了 PRACH 8～14，并且在 PCCPCH 帧之前 T_{p-a}－2560 个码片的位置启动（此时 SFN mod 2＝1）。参数 T_{p-a}可以等于 7680 或 12800 个码片（2 ms 或 3. 33 ms）。图 7-38 中还给出了 PRACH 接入时隙和 AICH 接入时隙之间的时间关系。AICH 接入时隙＃0 与 PCCPCH 帧的位置并列，此时 SFN mod 2＝0。

总共有 12 个 PRACH 子信道，每个子信道相当于一个接入时隙，UE 可以每隔 12 个接入时隙利用相同的子信道来发送前导。例如，如果 UE 在接入时隙＃0 中（称为“子信道＃0”）发送前导，并不监听 AICH 上相关的 AI，那么 UE 稍后将在接入时隙＃12（也称为“子信道＃0”）中再次发送 12 个接入时隙。由于每两个无线帧中包含了 15 个时隙，因此下一个接入时隙＃0 和子信道＃0 就是 8 个无线帧。也就是说，UE 在接入时隙＃0 发送完成之后，将再次在接入时隙＃0 发送 60 个接入时隙（80 ms）。

7.7.8 下行 DPCH 信道

下行专用物理信道（DPCH）负责承载用户数据的容量，并传输下行 DCH 信道。在一个下行 DPCH 信道中，L2 及其上层生成的专用数据采用时分复用的方式与物理层中生成的控制信息一起发送，包括导频比特、发送功率控制命令和 TFCI。因此，下行 DPCH 信道可以看作是下行 DPDCH 信道和 DPCCH 信道的时分复用信道。

图 7-39 给出了下行 DPCH 信道的帧结构示意图[3]。在图 7-39 中，每个 10 ms 无线帧分解成 15 个时隙，每个时隙对应了一个功率控制时段。图 7-39 中的参数 k 决定了每个下行 DPCH 时隙中的总比特数。DPCH 信道的扩频因子为 SF＝$512/2^k$，因此，扩频因子的变化范围为 512～4。

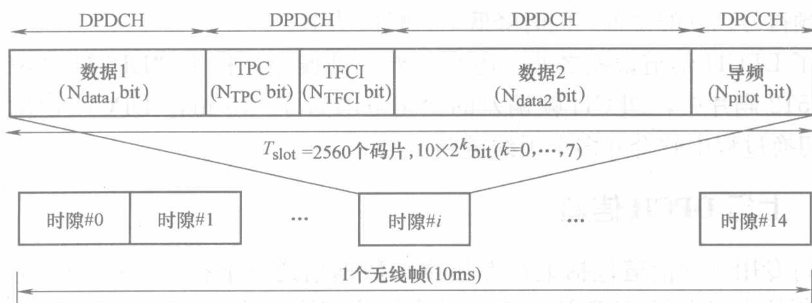


图 7-39

在 DPCCH 信道上，包含了用于同步的导频比特、用于闭环功率控制的发送功率控制（TPC）比特和用于传输格式规范的可选 TFCI 比特。其中，传输格式

规范与10 ms无线帧中的数据有关，而TPC每秒钟发送1500次。同时支持多个业务的DPCH信道通常都拥有TFCI，而那些固定速率的业务通常没有TFCI。UTRAN负责决定TFCI是否发送，而且对于所有UE来说，TFCI是强制性的，以便支持下行链路中使用TFCI。

参考文献［3］中给出了不同下行DPCH信道域中的精确比特数，同时还包括49种不同的时隙格式。不同的时隙格式用于不同的数据速率、数据类型和压缩模式。时隙格式通常由高层进行配置或重新配置。

在压缩模式中，使用的时隙格式与正常模式中的时隙格式不同[3]。压缩时隙格式可能包含两种类型，其中一种用于被扩频因子缩减压缩的帧中，另一种用于被穿孔或高层调度压缩的帧中。

在多代码的情形中（即支持多个DPCH信道），物理层信息只能在第1个下行DPCH信道上发送。DTX（中断传输）在其他DPCH信道的控制时段内发送。

不同DPCH信道可能在不同的时间发送。DPCH传输时间是由DPCH偏差（T_{DOFF}）决定的。其中，T_{DOFF}（变化范围为0～599×512个码片）在各组512码片中指定了DPCH传输的偏差量。图7-40描述了一个DPCH传输偏差示例。在该例子中，一个DPCH信道位于时隙边界处，而其他DPCH信道由T_{DOFF}指定偏差量。由于导频符号始终位于时隙中的固定位置，因此DPCH信道的偏差量可以扩展到导频符号以外的位置，同时降低下行峰值功率。

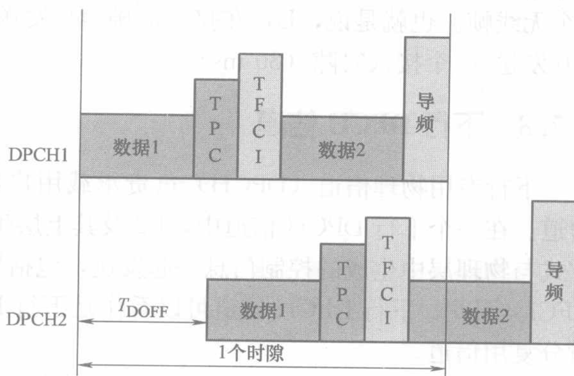


图7-40　DPCH传输偏差

除了DPCH信道偏差之外，还有另外一种偏差，称为“DPCH帧偏差”[3]。在各组512码片中，DPCH帧偏差的变化范围为0～10 ms。DPCH帧偏差允许UE在切换过程中软合并多个无线链路。

7.7.9　上行DPCH信道

上行专用物理信道包括上行专用物理数据信道（上行DPDCH）、上行专用物理控制信道（上行DPDCH）和高速专用物理控制信道（HS-DPDCH）。其中，HS-DPDCH与高速下行共享信道传输过程有关。每个无线链路都包含1个上行DPCCH信道、0个或多个上行DPDCH信道。上行DPDCH信道通常用来承载DCH传输信道，上行DPCCH信道通常用来承载物理层生成的控制信息。物理

层控制信息由导频比特、发送功率控制（TPC）比特、反馈信息（FBI）比特和可选传输格式合并指示（TFCI）组成。其中，导频比特通常用来支持连续性检测的信道评估；发送功率控制比特用于闭环功率控制；反馈信息比特用于闭环发射分集和站点选择分集传输（Site Selection Diversity Transmission，SSDT）。单个蜂窝或扇区中的闭环发射分集使用了多个天线，而SSDT使用了多个蜂窝单元。可选传输格式合并指示负责向接收端告知传输信道的瞬间传输格式合并，这些传输信道映射到同时发送的上行DPDCH无线帧中。UTRA负责告知UE是否需要发送TFCI。对于所有UE来说，TFCI是强制性的，以便支持上行链路中使用TFCI。关于导频比特、TPC和FBI的比特样式，在参考文献［3］中给出了详细阐述。

图7-41给出了上行DPDCH信道和DPCCH信道的帧结构示意图。在图7-41中，每个10 ms的无线帧分解成了15个时隙，每个时隙对应了一个功率控制时段。DPDCH信道和DPCCH信道中的各个帧始终处于并列位置。

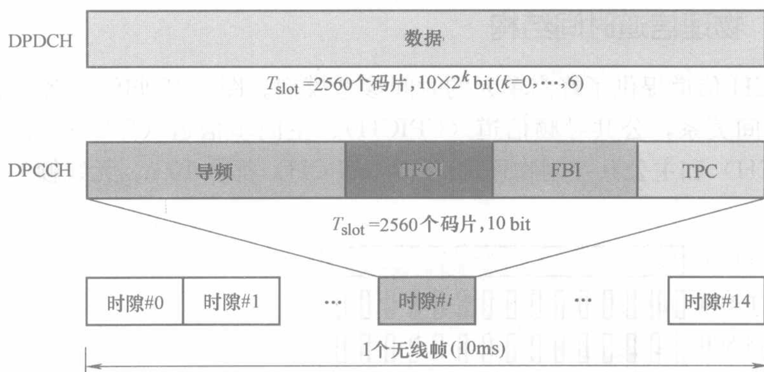


图7-41 上行DPDCH信道和DPCCH信道的帧结构

图7-41中的参数k决定了每个上行DPDCH时隙中的比特数目，该参数与DPDCH扩频因子有关，其关系式为$SF=256/2^k$。上行DPDCH扩频因子的变化范围为256～4，上行DPCCH信道的扩频因子始终等于256，也就是说，每个DPCCH时隙中包含10bit。

上行DPDCH信道中包含7种不同类型的时隙格式，每种时隙格式对应了一种数据速率。类似地，上行DPCCH信道中包含了6种时隙格式（时隙编号为0～5），不同的时隙格式用于不同的数据速率和压缩模式。其中时隙0、时隙2和时隙5具有两种派生的格式，即时隙格式0A和时隙格式0B。

图7-42给出了上行DPCH信道和下行DPCH信道之间的时间关系。上行DPCH信道发送和下行DPCH信道接收之间的延迟由T_0表示，T_0等于1024个码片。也就是说，上行DPCH信道在检测到第一个下行DPCH时隙之后，才会

发送1024个码片。上行DPCH发送始终处于上行DPDCH之前。根据功率控制前导流程，DPDCH信道的起点落后于DPCCH的起点。在功率控制前导流程中，UTRAN RRC给出了前导的长度。

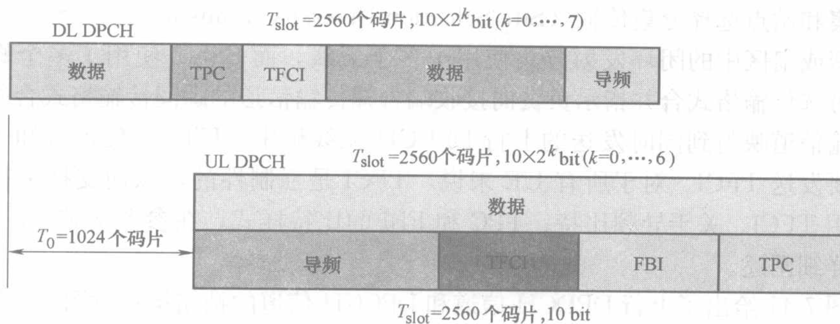


图7-42 上行DPCH信道和下行DPCH信道之间的时间关系

7.7.10 物理信道时间结构

CPICH信道提供了蜂窝单元的时间参考模型。图7-43归纳了各个物理信道之间的时间关系，公共导频信道（CPICH）、主同步信道（P-SCH）、次同步信道（S-SCH）和主公共控制物理信道（PCCPCH）都从10 ms无线帧的帧边界处开始发送。

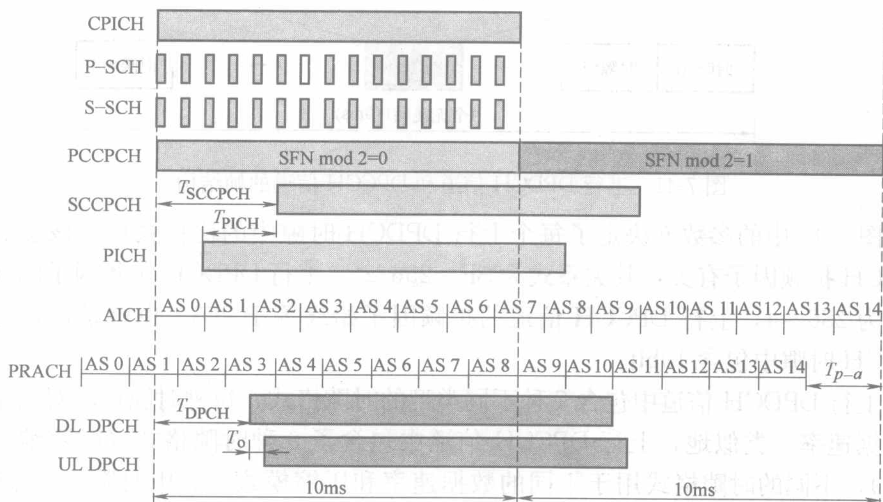


图7-43 各个物理信道之间的时间关系

在各组256码片中，次公共控制物理信道（SCCPCH）的位置与无线帧边界的偏移量由T_{SCCPCH}指定。在多个SCCPCH信道的情况中，每个SCCPCH信道

都具有各自的偏移量。寻呼指示信道（PICH）位于SCCPCH信道之前，超出的偏移量为T_{PICH}，T_{PICH}的长度等于3个时隙或7680个码片。捕获指示信道（AICH）的发送起点为10 ms无线帧的边界处，持续时间为20 ms。物理随机接入信道（PRACH）位于AICH信道之前，超出的偏移量为T_{p-a}，T_{p-a}的长度等于7680或12800个码片，PRACH信道的持续时间也是20 ms。

在各组256码片中，下行DPCH信道与无线帧边界的偏移量由T_{DPCH}指定。上行DPCH信道与无线帧边界的偏移量由T_0指定，T_0的长度等于1024个码片。

7.8 物理层工作流程

物理层工作流程有很多类型，本章中将要讨论的主要物理层工作流程包括初始捕获流程、PRACH流程、寻呼流程、DPDCH和DPCCH信道同步流程、无线链路建立和无线链路失败/保存流程、测量流程等。

7.8.1 初始捕获流程

当UE开机或掉线之后，就会利用初始捕获流程来捕获系统。系统捕获是指识别UE将要接入的蜂窝单元，并解调广播信道上的系统信息。因此，在实质上，初始捕获过程决定了蜂窝单元的主扰码（PSC）和帧结构，这样UE就可以解调PCCPCH信道上的数据了，该信道上承载了BCH信道。PSC总共有512种，每一种PSC都可能具有38400个码片长度的偏移量，这就为UE构建了一个512×38400大小的搜索空间。为了简化搜索空间，初始捕获流程按照以下3个步骤执行：

第1步：时隙同步。时隙同步是初始捕获流程中的第1步。在该步骤中，UE利用同步信道中的同步码来寻找10 ms无线帧中的时隙起点。在7.7.3节中我们提到过，系统中所有蜂窝单元的主同步码都是相同的，而且每个时隙对应一个同步码。因此，UE可以通过单个匹配滤波器来检查主同步码的自相关性，从而找到时隙的起点位置。时隙的起点位于匹配滤波器的输出峰值时刻，这一步的搜索空间为2560。

第2步：帧同步和扰码组识别。在该步骤中，UE通过同步信道中的次同步码来寻找10 ms无线帧的起点位置，并识别蜂窝单元的扰码组。在7.7.3节中我们提到过，一个包含15个次同步码的序列在同一个无线帧中发送，每个时隙对应一个次同步码。次同步码序列总共有64种不同的类型，其编号为序列0～63，每个序列对应一个主同步码组。在搜索过程中，UE将接收到的信号与所有64种次同步码序列进行比较，然后识别出最大的相关性值。最大的相关性值不仅给出了无线帧的起点位置，而且指出了正确的次同步码序列和相应的主扰码组，因

为次同步码序列的循环位移是惟一的。这一步的搜索空间为64×15=960。

第3步：扰码识别。在该步骤中，UE负责确定蜂窝单元的精确主扰码。扰码组中总共有8种主扰码，PSC是通过比较扰码组中的所有8种主扰码与CPCICH的相关性来识别的。CPICH信道负责承载已知的符号序列，该符号序列每个时隙重复一次，并且采用PSC实现扰码操作。这一步的搜索空间为8。值得注意的是，总共有512种不同的PSC。将搜索空间从512降到8可以使初始捕获流程变得更有效率。

一旦PSC识别之后，UE必须清除BCH信道上的一个10 ms的模糊区域，因为BCH信道具有一个20 ms的TTI。也就是说，如果第1个无线帧不是传输数据的起点位置，那下一个无线帧就是传输数据的起点。在清除了模糊区域之后，UE就可以检测到PCCPCH信道，并读取系统指定的BCH信息和蜂窝指定BCH信息。

7.8.2　物理随机接入流程

为了接入系统，UE必须在物理层中执行物理随机接入流程。在启动接入流程之前，物理层必须从RRC层中接收到以下接入信息：

1）PRACH前导扰码；

2）消息的时间长度（10 ms或20 ms）；

3）AICH传输时间参数（0或1）；

4）每个接入业务类别（ASC）的有效标签组和有效RACH子信道组；

5）功率倾斜步骤；

6）前导循环的次数和随机备份参数；

7）初始前导功率；

8）最后一个发送前导和随机接入消息的控制部分之间的功率偏移量$P_{p-m}=P_{message-control}-P_{preamble}$，单位为dB；

9）传输格式组参数，包括每个传输格式的随机接入消息中数据部分与控制部分之间的功率偏移量。

RRC层在每个物理随机接入流程启动之前会更新接入信息。

除了从RRC层接收到的数据之外，物理层在每次启动时也会接收到以下信息：

1）用于PRACH消息部分的传输格式；

2）PRACH传输过程中的ASC；

3）将要发送的数据。

值得注意的是，ASC是由RRC在发送RRC连接请求消息时进行初始设置的。在所有的其他RACH传输过程中，MAC层负责设置ASC。

图7-44描述了PRACH工作流程。在图7-44中，参数$T_{p\text{-}a}$、$T_{p\text{-}m}$和$T_{p\text{-}p}$的值与AICH传输时间参数（0或1）有关：$T_{p\text{-}a}$等于1.5或2.5个接入时隙（2 ms或3.33 ms）、$T_{p\text{-}m}$等于3或4个接入时隙（4 ms或5.33 ms）、$T_{p\text{-}p}$等于或大于$T_{p\text{-}m}$。

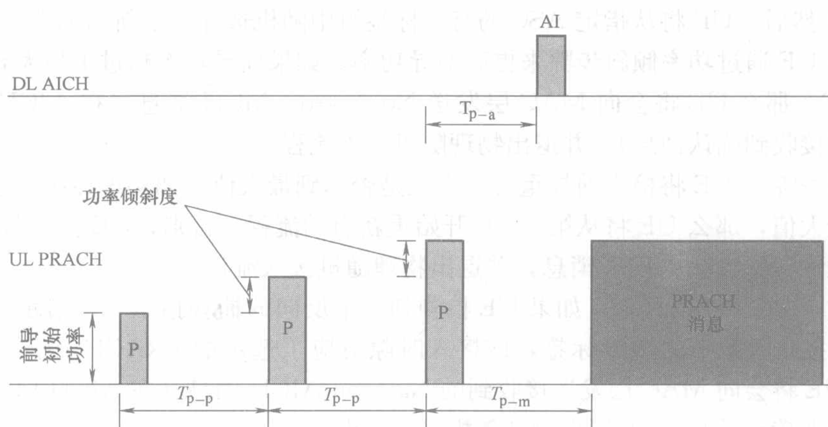


图7-44 物理随机接入流程

基本上，UE按照以下步骤来执行物理随机接入流程：

1）UE根据RRC层和MAC层提供的接入信息来确定有效PRACH接入时隙，然后在指定ASC的有效RACH子信道组中随机选择一个接入时隙。随机函数必须确保每个允许的选择具有相同的可能性。

2）UE从指定ASC的有效标签组中随机选择一个标签。

3）UE设置最大重发数。

4）UE根据式（7-9）设置前导初始功率：

Preamble _ Initial _ Power＝ Primary CPICH TX Power-CPICH _ RSCP＋UL Interference（上行参考值）＋Constant Value（常量） (7-9)

式中，Preamble _ Initial _ Power是指前导初始功率；Primary CPICH TX Power是指P-CPICH的发射功率；CPICH _ RSCP（CPICH接收到的信号代码功率）是一个测量值，而其他3个参数是由UTRAN直接指定的。注意，在下一个PRACH流程启动之前，不会重新计算Preamble _ Initial _ Power（前导初始功率）。

5）UE利用选定的PRACH接入时隙、标签和前导发送功率来发送一个前导。

6）在AICH信道上，如果UE没有检测到一个正向的或反向的捕获指示（该指示对应了AICH接入时隙中的选定标签，该接入时隙对应了选定的PRACH接入时隙），那么UE将执行以下子步骤：

① UE从指定ASC的有效RACH子信道组中选择下一个有效接入时隙，因为ASC负责确定UE可以使用哪一个子信道。但是，下一个接入时隙必须比相同或不同子信道的接入时隙延迟 $T_{p\text{-}p}$，$T_{p\text{-}p}$也是由ASC决定的。如果前导位于相同的子信道上，那么 $T_{p\text{-}p}$就是12个接入时隙。

② 然后，UE将从指定ASC的有效标签组中随机选择一个新的标签。

③ UE通过功率倾斜步骤来提高前导功率。如果前导功率超过了最大允许功率6 dB，那么UE将会向MAC层发送No-Ack-on-AICH消息（在AICH信道上没有接收到确认消息），并退出物理随机接入流程。

④ 之后，UE将检查前导重传的次数是否达到最大值：如果重传次数还没有达到最大值，那么UE将从第5）步开始重新启动流程；否则，UE将会向MAC层发送No-Ack-on-AICH消息，并退出物理随机接入流程。

7）在AICH信道上，如果UE检测到一个反向的捕获指示（该指示对应了AICH接入时隙中的选定标签，该接入时隙对应了选定的PRACH接入时隙），那么UE将会向MAC层发送接收到的Nack-on-AICH消息（在AICH信道上接收到的非确认消息），并退出物理随机接入流程。

8）UE根据AICH传输时间参数在最后一次发送前导之后的3个或4个接入时隙内发送随机接入消息，随机接入消息中控制部分的传输功率必须比最后一次发送前导的功率高 P_{p-m} dB。随机接入消息中数据部分的发送功率利用功率增益因子来进行设置[5]。

9）最后，UE向MAC层发送一个RACH已发送消息（RACH-message-transmitted），同时完成物理随机接入流程。

在物理随机接入流程中，很多UE可以在相同的接入时隙中发送数据。这些UE可以在16个可能的标签中随机选择，这16个标签之间不会相互影响，因为它们是由不同的Hadamard形成的。但是，如果两个或更多UE选择相同的标签，那么仍然可能出现冲突。

7.8.3 寻呼流程

当UTRAN需要与UE通信时，UTRAN首先必须对UE进行寻呼。在空闲模式、URA _ PCH状态或Cell _ PCH状态下时，UE利用中断接收（DRX）功能来使其在寻呼循环之间处于休眠状态，从而延长电池寿命。UE会周期性地“苏醒”，以便读取PICH信道上指定的寻呼指示比特。在4.3节中介绍过，DRX循环长度决定了各次“苏醒”之间的间隔时间。“苏醒”之后，UE将在寻呼时机内监控PICH信道上的指定寻呼指示，寻呼时机由式（4-3）计算得到。在UE负责监控的PICH信道上指定寻呼指示的位置可以根据式（7-4）和式（4-4）来计算。

在7.7.5节中介绍过，寻呼时机内总共有N_p个寻呼指示，其中N_p可以等于18、36、72或144。PICH信道上的每个寻呼指示都是一个重复比特序列，重复比特的数量等于288除以寻呼指示的数量N_p。如果所有比特都是－1，那么寻呼指示就有效；否则，如果所有比特都为1，那么寻呼指示就无效。

图7-45给出了一个PICH信道的例子。在该例子中，N_p＝18，寻呼指示分别为P_0、P_1、…、P_{17}，每个寻呼指示拥有16个重复比特。如果PI＝5，SFN＝256，那么根据式（7-4），UE负责监控的寻呼指示就是P_{14}。如果P_{14}的各个比特$b_0 \cdots b_{15}$全部设置为－1，那么UE必须监听相关SCCPCH信道上的传输寻呼信道（PCH），SCCPCH信道的位置比PICH帧落后3个无线帧。如果没有其他寻呼，那么所有其他寻呼指示的比特都设置为1。

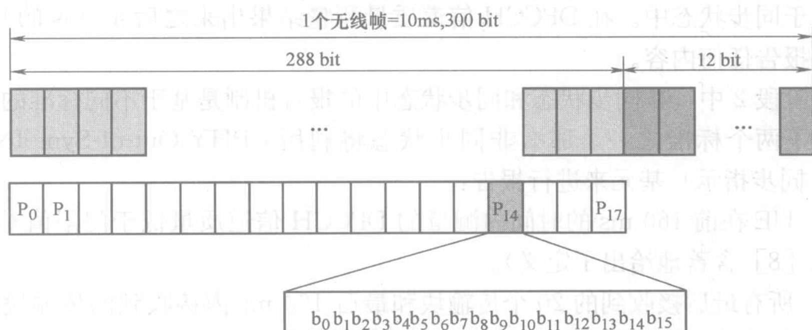


图7-45　PICH信道的寻呼指示

在第4章我们提到过，寻呼类型1消息的BCCH信息IE中包含了系统信息变化信息，如值标签和修改时间。因此，当UE处于空闲模式、URA_PCH状态或Cell_PCH状态下时，如果系统信息发生了变化，那么寻呼指示中的所有比特都将设置为－1，这样将强制所有的UE必须读取SCCPCH信道上相应的寻呼类型1消息。

有时，两个具有不同IMSI的UE可能会被混乱成相同的寻呼指示，这就是所谓的混乱冲突。当混乱冲突发生时，UE将会发现PICH信道上指定的寻呼指示要求UE读取相关SCCPCH信道上的PCH信道，但同时也说明寻呼消息不是寻呼该UE的。

7.8.4　DPDCH/DPCCH同步

在参考文献［5］中，通常利用同步基元来说明上行链路和下行链路中专用信道的无线链路同步状态情况。在上行链路的物理层中，B节点在每个无线帧内检查所有无线链路集的同步状态。同步状态利用CPHY-Sync-IND（CPHY同步指示）或CPHY-Out-of-Sync-IND（非CPHY同步指示）基元来说明无线链路

故障/保存触发函数。每个无线链路集中只指定了一个同步状态指示。但是，在标准中并没有详细定义同步中/非同步的准确标准。

在下行链路的物理层中，UE在每个无线帧内检查所有下行专用信道的同步状态，并利用CPHY-Sync-IND（CPHY同步指示）或CPHY-Out-of-Sync-IND（非CPHY同步指示）基元来向高层报告同步状态。报告同步状态的标准有两种不同的阶段：阶段1从无线链路建立时开始（参考文献［7］中有描述），并一直持续到链接建立后160 ms；阶段2从下行专用信道被高层确认为已经建立之后的160 ms处开始。

在阶段1中没有非同步状态报告。如果在前40 ms内，UE测量的DPCCH信道质量高于门限值Q_{in}（参考文献［8］含蓄地给出了定义），那么该阶段就会报告处于同步状态中。在DPCCH信道质量测量结果出来之后40 ms的时间内，不需要报告任何内容。

在阶段2中，非同步状态和同步状态中的报告机制是基于不同标准的。如果满足以下两个标准之一，那么非同步状态将利用CPHY-Out-of-Sync-IND（非CPHY同步指示）基元来进行报告：

1）UE在前160 ms的时间内测量的DPCCH信道质量低于门限值Q_{out}（参考文献［8］含蓄地给出了定义）。

2）所有最后接收到的20个传输块和最后160 ms内接收到的传输块都可能具有CRC故障，没有CRC的传输块将会被丢弃。

如果同时满足以下两个标准，那么同步状态将利用CPHY-Sync-IND（CPHY同步指示）基元来报告：

1）UE在前160 ms的时间内测量的DPCCH信道质量高于门限值Q_{in}。

2）至少一个传输块在前160 ms内通过了CRC测试。如果在160 ms内没有接收到带有CRC的传输块，那么同步状态条件依然满足。

7.8.5 无线链路建立和无线链路故障

在Node B中，每个无线链路集都可以处于3种不同的状态：初始状态、非同步状态和同步状态。无线链路建立流程负责处理初始状态和非同步状态之间的过渡过程，而无线链路故障负责处理非同步状态和同步状态之间的过渡过程。

1. 无线链路建立

在无线链路建立过程中，UE和UTRAN之间专用信道的物理层同步过程有两个流程，参考文献［5］中给出了具体定义，如下所述。

1）同步流程A。该流程通常在如下的情况中使用：至少有一个下行专用物理信道和一个上行专用物理信道将在同一个频率上建立，而且在链路建立或重新配置之前，没有无线链路存在。

2）同步流程B。该流程通常在如下的情况使用：一个或多个无线链路被添加到动态集中，而且在链路建立或重新配置之前至少有一个无线链路存在，并在链路建立或重新配置之后仍然存在。

（1）同步流程A 同步流程A的起点由高层指定，起点可以位于接收高层信令的同时，或者指定的激活时间。该流程具体步骤如下所述：

1）首先，每个涉及到的Node B都将所有无线链路设置成预备建立UE链接初始状态。

2）接下来，UTRAN开始发送下行DPCCH信道，而且如果有数据需要发送，那么就可能发送下行DPDCH信道。下行DPCCH信道的初始发送功率由高层设置[9]。下行DPCCH信道中发送的TPC命令满足以下格式［n(0，1)，1］，其中n是由UTRAN指定给Node B的，而不是通过信号发送给UE。也就是说，TPC格式由n个TPC命令对（0，1）组成，其后是一个TPC命令1，其中（0，1）表示TPC命令在两个连续的时隙内发送。TPC格式在每个帧的起点处重新有效（此时CFN mod 4=0），一旦完成上行同步，该格式将无效。

3）UE利用UTRAN指定的PCCPCH信道时间结构和时间偏移量信息来建立下行码片和帧同步，下行同步状态在每个无线帧中报告给上层，具体内容在7.8.4节中给出了描述。

4）然后，UE对最小40 ms长的TPS比特进行译码，RRC层负责确定下行DCH信道是否已经建立。在T312秒（默认值为1）时间内，译码标准是N312（默认值为1）个同步指示。当下行DCH已经建立时，UE将在上行DPCCH信道中给N_{pcp}个帧发送功率控制前导（PCP）。其中，N_{pcp}由RRC连接建立消息指定。当N_{pcp}个帧发送完之后，UE将开始在DPDCH信道上发送数据。

5）最后，UTRAN建立上行码片和帧同步。无线链路一直停留在初始状态，直到从物理层接收到N_INSYNC_IND连续同步指示。之后，B节点将触发无线链路存储流程，同时指明哪一个无线链路集已经获得同步，以及哪一个无线链路集被认为已经进入了同步状态。无线链路存储流程可以触发多次，同时指明不同无线链路集获得的同步情况。

（2）同步流程B 同步流程B的起点由高层指定，起点可以位于接收高层信令的同时，或者指定的激活时间。该流程具体步骤如下所述：

1）首先，UTRAN在帧周期内为每个新的无线链路发送下行DPCCH/DPDCH信道，这样UE接收到的帧周期就处于$T_0 \pm 148$个码片的范围内，该帧周期在UE端上行DPCCH/DPDCH信道的帧周期之前。同时，UTRAN为每个新的无线链路建立上行码片和帧同步。被认为已经进入了初始状态的无线链路集必须停留在初始状态中，直到从物理层接收到N_INSYNC_IND连续同步指示。之后，Node B将触发无线链路存储流程，同时指明哪一个无线链路集已经获得

同步。此时，无线链路集被认为已经进入了同步状态。无线链路存储流程可以触发多次，同时指明不同无线链路集获得的同步情况。

2）UE每个新的无线链路建立下行码片和帧同步，UE中的物理层通过每个无线帧持续给高层报告下行同步状态。

2. 无线链路故障和存储

Node B负责监控上行无线链路集，以触发无线链路故障/存储流程。无线链路集一旦建立起来之后，要么处于同步状态，要么处于非同步状态。无线链路故障是以物理层关于非同步状态情况的报告为基础。

在上行链路中，当无线链路集处于同步状态时，Node B在接收到N_OUTSYNC_IND连续非同步指示之后，将启动定时器T_RLFAILURE。如果Node B在定时器T_RLFAILURE截止之前接收到N_SYNC_IND连续同步指示，那么Node B将终止并重启定时器T_RLFAILURE；否则Node B将触发预留的链路故障流程，并说明哪一个无线链路集处于非同步状态。当无线链路故障流程被触发后，无线链路集的状态就会转换到同步状态。

各种参数（T_RLFAILURE、N_OUTSYNC_IND和N_INSYNC_IND）可以通过Iub接口进行配置，并通过信令发送给Node B[9]。

在下行链路中，也有一个类似的流程，该流程由RRC处理。无线链路由UE监控，以触发无线链路故障流程。在接收到N313（默认值为20）个连续的非同步指示后，将触发一个T313（默认值为3s）的定时器。如果在定时器截止之前接收到N315个（默认值为1）连续的非同步指示，那么定时器将终止并重启，否则将启动无线链路故障流程。

7.8.6　测量

UE和UTRAN中的物理层为上层提供了各种质量测量方式，以实现各种功能，包括随机接入、切换、功率控制、定位和UE最大发送功率。其中，每一种功能可能都需要一种或两种测量方式。在UTMS的标准中，并没有指定这些功能的测量方法。

测量过程可以周期性地进行并向上层报告，或者由事件触发。同时，测量过程也可以采用周期性和由事件触发相结合的方式。测量过程的具体实现方式与业务基元密切相关，因为某些测量方式是由基元参数构成的。

另外，同一个测量过程可能具有两种不同类型的测量方式：类型1和类型2。例如，切换和定位业务必须采用SFN-SFN观察时差测量方式，切换过程采用SFN-SFN观察时差类型1方式；而定位业务采用SFN-SFN观察时差类型2方式，因为类型2的精确度更高。

关于FDD模式下测量控制和性能的具体内容，在参考文献［6］中给出了详

细描述；而关于TDD模式下测量控制和性能的具体内容，在参考文献［13］中给出了详细描述。参考文献［6］（FDD模式）和参考文献［13］（TDD模式）中详细介绍了测量性能要求、精确度、范围和映射等内容。物理层负责执行实际的测量和过滤过程，并将结果发送到RRC层，该发送过程的时间由RRC层信令指定。物理层必须按照指定的精确度将测量结果发送到RRC层。关于性能要求的内容，在参考文献［11］中给出了描述。

1. UE测量

UE的测量内容包括CPICH E_c/I_o、接收功率、CPICH RSCP、SFN-CFN观察时差、SFN-SFN观察时差、BLER、接收-发射时差和发射功率。

（1）CPICH E_c/I_o CPICH E_c/I_o是指频段中接收码片能量与功率密度的比值，其值等于CPICH RSCP除以接收功率。CPICH E_c/I_o测量过程是在UE天线连接器的主CPICH信道上执行的。如果主CPICH信道上采用发射分集技术，那么从每个天线上接收到的码片能量必须是逐个进行测量的，然后在计算E_c/I_o之前对每个能量进行求和，得到一个总的接收码片能量。

（2）接收功率 接收功率是指在脉冲成形滤波器带宽内接收频段的功率（包括热噪声和接收端产生的噪声），接收功率也称为“RSSI”。测量过程的测量参考点是UE天线连接器，接收功率通常用于WCDMA频间蜂窝单元报告。

（3）CPICH RSCP CPICH RSCP是指在主CPICH信道上测量到的一个代码的接收功率。测量过程的参考点是UE天线连接器。如果主CPICH信道上采用发射分集技术，那么从每个天线上接收到的代码功率必须是逐个进行测量的，然后在主CPICH信道上形成一个总的代码功率。CPICH RSCP通常用于报告可能的切换蜂窝单元，或者设置初始随机接入功率和初始DPCCH信道功率。

（4）SFN-CFN观察时差 SFN-CFN观察时差是切换过程中的一个重要测量内容，可以使UTRAN切换到其他异步Node B。UE负责报告当前服务蜂窝单元与潜在切换服务蜂窝单元之间的时间差。当UTRAN在动态链路集中添加一个新的无线链路时，新的蜂窝单元必须发送信道帧，以便这些帧与其他链路的信道帧几乎同时到达UE。这是同步流程B要求的，在7.8.5节中的第1部分给出了介绍。SCH-SCH观察时差的测量参考点是UE天线连接器。

UE通过OFF和T_m来测量时差。其中，T_m负责报告UE传输过程和UE接收相邻蜂窝单元信号之间的码片级时差，而OFF负责报告系统帧编号和UE当前连接帧编号之间的时差。更具体来说，SFN-CFN观察时差的定义如下：$OFF \times 38400 + T_m$。其中，$T_m = (T_{UETx} - T_0) - T_{RxSFN}$，单位为码片，范围为0～38399个码片。$T_{UETx}$是指UE发射上行DPCCH/DPDCH帧的时间；$T_0$是指上行DPCH信道与下行DPCH信道之间的偏移量，其值等于1024个码片；T_{RxSFN}是指UE中在$T_{UETx} - T_0$时间之前最新接收到的相邻PCCPCH帧的开始时

间。OFF＝(SFN－CFN_{TX}) mod 256，单位为帧，其值范围为0～255。其中，CFN_{TX}是指上行DPCCH/DPDCH帧的连接帧编号。上行DPCCH/DPDCH帧由UE在T_{UETx}时间发送。SFN是指相邻蜂窝单元PCCPCH帧的系统帧编号，PCCPCH帧由UE在T_{RxSFN}时间接收到。如果频间测量过程是在压缩模式下进行的，那么OFF就可能会被报告为0。

(5) SFN-SFN观察时差　SFN-SFN观察时差包括两种类型：类型1和类型2。

1) 在类型1中，蜂窝单元的SFN-SFN观察时差定义为OFF×38400＋T_m。其中，$T_m = T_{RxSFNj} - T_{RxSFNi}$，单位为码片，其变化范围为0～38399个码片。$T_{RxSFNj}$是指从相邻蜂窝单元$j$中接收到PCCPCH帧的开始时间；$T_{RxSFNi}$是指UE中在$T_{RxSFNj}$时间之前最新接收到的相邻PCCPCH帧的开始时间。OFF＝(SFN_i－SFN_j) mod 256，单位为帧，其值范围为0～255。其中，SFN_j是指UE在T_{RxSFNi}时间从蜂窝单元j中接收到的下行PCCPCH帧的系统帧编号；SFN_i是指UE在T_{RxSFNi}时间从蜂窝单元i中接收到的下行PCCPCH帧的系统帧编号；SFN-SFN观察时差类型1的测量参考点是UE天线连接器。

2) SFN-SFN观察时差类型2是指蜂窝单元i和j之间的相对时差，定义为$T_{CPICHRxj} - T_{CPICHRxi}$。其中，$T_{CPICHRxj}$是指UE从蜂窝单元$j$中接收到一个主CPICH时隙的时间；$T_{CPICHRxi}$是指UE从蜂窝单元$i$中接收到一个主CPICH时隙的时间，该时隙与从蜂窝单元j中接收到的时隙在时间上是相邻的。SFN-SFN观察时差类型2的测量参考点也是UE天线连接器。SFN观察时差类型1通常用于切换，而SFN观察时差类型2更加精确，通常用于定位服务（Location Service，LCS）。

(6) 误块率　误块率（Block Error Rate，BLER）通常用于传输信道，其测量过程要求CRC非零。BLER是在测量周期内进行计算的，其值等于接收到的带有CRC错误的传输块数量与接收到的总传输块数量的比值。

如果CRC的大小非零，那么传输信道可能会请求进行BLER测量，这种情况只有满足以下条件时才会出现：当使用TFCI或引导检测功能时，相关传输格式集中至少有一个传输格式至少包含了一个传输块；如果TFCI和引导检测功能都没有使用，那么只有当相关传输格式集中的所有传输格式至少包含一个传输块时，才会请求进行BLER测量。另外，测量过程并不适用于那些映射到PCCPCH和SCCPCH信道的传输信道。

(7) 发射-接收时差　发射-接收时差是指UE的上行DPCCH/DPDCH帧发送过程与被测量无线链路中第1个被检测到的下行DPCH帧之间的时间差。发射-接收时差测量包括两种类型：类型1和类型2。类型1通常用于同步流程，这时将启动一个上行DPCH信道；类型2可以用于LCS。在类型1中，参考接收路径是指解调过程使用的各种路径中第1个被检测的路径；在类型2中，参考接

收路径是指被UE检测到的各种路径中第1个被检测的路径。因此，类型1和类型2中测量过程使用的参考接收路径可能有所不同。UE发射-接收时差的测量参考点是UE天线连接器，动态集中的每个蜂窝单元都必须进行发射-接收时差测量。

(8) UE发射功率 UE发射功率是在UE天线连接器处进行测量的，其值等于UE中单个载体的发射功率。UE可能会被告知不能超过最大发射功率。

2. UTRAN测量

UTRAN的测量内容包括接收功率、发送载波功率、发送代码功率、SIR、BER和RTT。

(1) 接收功率 接收功率是指在脉冲成形滤波器带宽内接收到的频段功率，包括热噪声和接收端产生的噪声。接收功率测量的测量参考点是接收天线连接器。如果存在接收分集，那么最后报告上去的功率必须是各个分集测量功率的线性平均值。

(2) 发送载波功率 发送载波功率是指单个载波上总平均发射蜂窝功率与该载波上最大平均发射蜂窝功率的比值。发送载波功率测量通常用来持续追踪蜂窝单元的有效功率，其参考点是发射天线连接器。如果存在发射分集，那么发送载体功率等于各个分集发射功率的总和与最大发射功率的比值。

(3) 发送代码功率 发送代码功率是指各个载波的每个扰码中每个OVSF码的功率。发送代码功率测量可能在任何下行专用信道的DPCCH域中进行，并在DPCCH域的导频比特反映出来。当在压缩模式下进行发送代码功率测量时，所有的时隙（包括传输间隙的时隙）都必须进行测量。发送代码功率测量的测量参考点是发射天线连接器。如果存在发射分集，那么每个分集的发送代码功率都必须测量并求和。

(4) 信扰比 信扰比（Signal to Interference Ratio，SIR）的定义为(RSCP/ISCP)×SF。其中，ISCP是指干扰（噪声）代码功率，RSCP是指OVSF码的功率，SF是指DPCCH信道的扩频因子。信扰比测量是在无线链路集中的DPCCH信道上进行的，通常用于功率控制。在压缩模式下，在传输间隙中不进行SIR测量。SIR测量的测量参考点是接收天线连接器。如果无线链路集是由多个无线链路组成的话，那么报告上去的SIR必须是每个无线链路SIR的总和；如果蜂窝单元中使用了接收分集，那么无线链路的SIR等于无线链路中每个接收天线SIR的总和。

(5) 误码率 误码率（Bite Error Rate，BER）测量适用于传输信道和物理信道。BER测量通常用于外环功率控制。传输信道BER是无线链路集中DPDCH数据的平均BER评估值，其测量数据是由Node B中信道译码器输入端的非穿孔比特构成的。物理信道BER是无线链路集中DPCCH信道的BER评

估值。

(6) 往返时间 往返时间（Round Trip Time，RTT）是指从下行DPCH信道传输开始到相应的上行DPCH接收中第一个到达路径之间的时间差。具体来说，RTT的定义为RTT$=T_{RX}-T_{TX}$。其中，T_{TX}是指下行DPCH帧开始发送到UE的时间，T_{RX}是指从UE接收相应的上行DPCCH/DPDCH帧开始的时间。T_{TX}的测量参考点是发射天线连接器，T_{RX}的测量参考点是接收天线连接器。

7.9 小结

物理层是协议栈中的最底层，负责向高层提供各种服务。物理层中定义了各种物理信道，并实现了很多功能，包括传输信道检错、传输信道的FEC编码/译码、传输信道的复用以及编码合成传输信道（CCTrCh）的分离、编码传输信道与物理信道之间的速率匹配、编码合成传输信道到物理信道的映射、物理信道的功率加权与合并、物理信道的调制和扩频/解调与解扩、频率及时间（码片、位、时隙、帧）同步、无线性能测量、宏分集分布/合并及软切换执行、内环功率控制、射频处理、同步位移控制以及波束成形等。

WCDMA系统中使用3种编码：OVSF码、扰码和同步码。OVSF码负责将数据符号扩展成码片，并指定每个符号中的码片数。扩频因子的范围为：下行为4～512，上行为4～256。具有不同扩频因子的代码其长度也各不相同。在下行链路中，不同的OVSF码可以用来区分蜂窝单元中的各个UE；在下行链路中，不同OVSF码可以用来区分UE中的不同专用物理信道。

扰码都是截断Gold码，Gold码是伪随机噪声序列，该伪随机序列用来模拟一个具有良好互相关性的随机噪声。扰码通常用来对数据进行扰码操作，并区分下行链路中的蜂窝单元（扇区）和上行链路中的各个用户。每个扰码的长度为38400个码片。在正常模式下，下行链路中有8192种扰码，这8192种扰码划分成512组，每组中包含1个主扰码（PSC）和15个次扰码（SSC）。512种PSC可以进一步划分成64扰码组，每个扰码组中包含8个PSC。在上行链路中，总共有2^{24}种扰码。当指定一个专用物理信道时，UTRAN负责告知UE使用哪一种上行扰码。每个UE都会指定一个惟一的扰码，这样就可以区分各个用户。

同步码是一个长度为256个码片的复值序列。其中，主同步码只有1种，而次同步码有16种。主同步码通常用来标识时隙边界，而次同步码通常用来标识帧边界。

物理层通过下行链路工作流程和上行链路工作流程来实现很多功能。下行链路工作流程以从MAC层接收到传输信道数据为起点，以将物理信道发送到无线链路为终点。下行链路工作流程由很多连续的步骤组成，包括循环冗余校验

(CRC) 附着、传输块级联、数据流分割成代码块、信道编码、速率匹配、首次DTX、首次交叉、传输信道分割成10 ms长的无线帧、传输无线帧复用成编码合成传输信道(CCTrCh)、第2次DTX插入、第2次交叉、映射到物理信道、物理信道利用OVSF码进行扩频、物理信道利用下行扰码进行扰码操作、调制等。在调制结束之后，信号被发送到无线链路中，同时完成下行链路物理工作流程。

上行链路工作流程也是以从MAC层接收传输信道数据开始，以向无线链路发送物理信道线束。上行链路工作流程由很多连续的步骤组成，包括CRC附着、传输块的级联、数据流分割成代码块、信道编码、无线帧均匀化、首次交叉、传输信道分割成10 ms的无线帧、速率匹配、传输无线帧复用成CCTrCh信道、第2次交叉、映射到物理信道、物理信道利用OVSF码进行扩频、利用上行扰码进行物理信道扰码操作以及调制。

在下行链路中，物理信道包括主公共控制物理信道(PCCPCH)、次公共控制物理信道(SCCPCH)、公共导频信道(CPICH)、主同步信道(P-SCH)、次同步信道(S-SCH)、寻呼指示信道(PICH)以及捕获指示信道(AICH)和下行专用物理信道(DPCH)。其中，DPCH信道由专用物理数据信道(DPDCH)和专用物理控制信道(DPCCH)组成。在上行链路中，物理信道包括物理随机接入信道(PRACH)、上行专用物理数据信道和上行专用物理控制信道。物理层的主要工作流程包括初始捕获流程、物理随机接入流程和寻呼流程。当UE开机或掉线之后，就会利用初始捕获流程来捕获系统。基本上，初始捕获流程决定了主扰码(PSC)和蜂窝单元的帧结构，这样UE就可以解调PCCPCH信道上的数据，PCCPCH信道承载了BCH信道。初始捕获流程分为3个步骤：利用主扰码实现时隙同步，利用次扰码实现帧同步和码组识别，通过CPICH上符号之间的相关性来实现扰码之间的识别。

UE通过物理层中的物理随机接入流程接入到系统。物理随机接入流程中UE必须执行的连续步骤包括：根据RRC层和MAC层提供的信息来确定有效PRACH接入时隙，并从指定ASC的有效RACH子信道集中随机选择一个接入时隙；从指定ASC的有效标签集中随机选择一个标签；设置重传的最大次数；设置前导初始功率；利用选择的PRACH接入时隙、标签和前导传输功率发送一个前导；在最后一次发送前导的上行接入时隙的3个或4个时隙之后发送随机接入消息；将已经发送过的RACH消息传送到MAC层，同时完成物理随机接入流程。

UTRAN通过首次寻呼UE来启动与UE之间的通信过程。在空闲模式、URA _ PCH状态或Cell _ PCH状态下时，UE在寻呼循环之间处于休眠状态，从而延长电池寿命。UE会周期性地“苏醒”，以便读取PICH信道上指定的寻

呼指示比特。如果寻呼指示设置为一1，那么UE将监听相关SCCPCH信道上的传输寻呼信道（PCH），该PCH信道的位置比PICH帧落后3个无线时隙。

在DPDCH/DPCCH同步过程中，同步基元通常用来说明上行和下行链路中专用信道的无线链路同步状态。在上行链路中，Node B在每个无线帧处负责检查所有无线链路集的同步状态；在下行链路中，UE负责在每个无线帧处检查所有下行专用信道的同步状态。

在Node B中，每个无线链路集都可以处于初始状态，也可以处于非同步状态或同步状态。无线链路建立流程负责处理初始状态和非同步状态之间的过渡过程，而无线链路故障流程负责处理非同步状态和同步状态之间的过渡过程。

在无线链路建立过程中，系统为UE和UTRAN之间的专用信道物理层同步定义了两个同步流程，分别称为“同步流程A”和“同步流程B”。其中，同步流程A通常在以下情况中使用：至少有一个下行专用物理信道和一个上行专用物理信道将在一个频率上建立，而且在链路建立或重新配置之前，没有无线链路存在；而同步流程B通常在以下情况中使用：一个或多个无线链路被添加到动态集中，而且在链路建立或重新配置之前至少有一个无线链路存在，并在链路建立或重新配置之后仍然存在。

在无线链路故障和存储流程中，Node B负责监控上行无线链路集，以触发无线链路故障/存储流程。无线链路集一旦建立起来之后，要么处于同步状态，要么处于非同步状态。无线链路故障是以物理层关于非同步状态情况的报告为基础的。在下行链路中，无线链路是由UE负责监控，以触发无线链路故障流程。

UE和UTRAN中的物理层为上层提供了各种质量测量方式，以实现各种功能，包括随机接入、切换、功率控制、定位和UE最大发送功率。其中，每一种功能可能都需要一种或两种测量方式。UE的测量内容包括CPICH E_c/I_o、接收功率、CPICH RSCP、SFN-CFN观察时差、SFN-SFN观察时差、BLER、接收-发射时差和发射功率等；而UTRAN的测量内容包括接收功率、发送载体功率、发送码功率、SIR、BER和RTT等。

参考文献

[1] 3GPP TS 25.101，v5.2.0. Physical layer—general description，Release 5.
[2] 3GPP TS 25.212，v5.4.0. Multiplexing and channel coding（FDD），Release 5.
[3] 3GPP TS 25.211，v5.3.0. Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels（FDD），Release 5.
[4] 3GPP TS 25.213，v5.3.0. Spreading and modulation（FDD），Release 5.
[5] 3GPP TS 25.214，v5.6.0. Physical layer procedures（FDD），Release 5.

[6] 3GPP TS 25. 215，v5. 5. 0. Physical layer measurements (FDD)，Release 5.
[7] 3GPP TS 25. 331，v5. 7. 1. Radio Resource Control (RRC)；protocol specification，Release 5.
[8] 3GPP TS 25. 101，v5. 6. 0. UE radio transmission and reception (FDD)，Release 5.
[9] 3GPP TS 25. 433，v5. 6. 0. UTRAN I_{ub} Interface NBAP Signaling，Release 5.
[10] 3GPP TS 25. 302，v5. 8. 0. Services provided by the physical layer，Release 5.
[11] 3GPP TS 25. 133，v5. 8. 0. Requirements for support of radio resource management (FDD)，Release 5.
[12] 3GPP TS 25. 123，v5. 10. 0. Requirements for support of radio resource management (TDD)，Release 5.
[13] 3GPP TS 25. 255，v5. 7. 0. Physical layer；Measurements (TDD)，Release 5.

第8章 蜂窝重选

蜂窝重选的目的是当UE没有工作于专用信道上时，可以不间断地选择网络中最合适的蜂窝单元。适合UE重选的蜂窝单元数量，与UE的容量和接入网络的限制条件有关。根据射频条件和特性，UE必须确定选择哪一个蜂窝单元。本章将详细讨论蜂窝重选过程。

8.1 蜂窝重选类型

蜂窝重选包含3种类型：频内蜂窝重选、频间蜂窝重选和RAT间蜂窝重选。频内蜂窝重选发生在使用相同频率的蜂窝单元之间，在频内蜂窝重选过程中，UE会首先测量其他蜂窝单元的信号强度，这个过程不会对UE与当前蜂窝单元之间的链路产生影响。频间蜂窝重选发生在使用不同频率的蜂窝单元之间，在频间蜂窝过程中，UE会必须将其频率调谐到相邻单元的频率上，以便测量该蜂窝单元的信号强度。RAT间蜂窝重选发生在不同无线接入技术之间。与频间蜂窝重选过程类似，RAT间蜂窝重选过程中UE首先必须将其频率调谐到另一个RAT的频率上，以便测量该蜂窝单元的信号强度。典型的RAT间蜂窝重选例子就是UMTS和GSM之间的蜂窝重选。UMTS FDD和UMTS TDD之间的蜂窝重选过程也可以看作是一种RAT间蜂窝重选。

为了确定UE是否应该以及何时进行蜂窝重选，UE首先必须对相邻蜂窝单元进行测量，UE测量的时机由UE的状态、测量的类型和UE接收端的容量等因素决定。当UE持续地从当前服务的蜂窝单元中接收信息时，同时也可能会在其他蜂窝单元上进频内测量。但是，对于频间测量和RAT间测量过程来说，如果UE只有一个接收端，那么UE首先必须调谐到其他频率上，再进行测量。

图8-1给出了UE测量的时机。如图8-1a所示，当UE处于空闲模式、Cell _ PCH状态或URA _ PCH状态时，UE大部分时间都处于休眠状态，只有在指定的寻呼时机内才会"苏醒"，以监控寻呼指示信道。在寻呼时机内，UE也可以进行频内测量、频间测量和RAT间测量。UE执行这些测量过程的频繁程度取决于接收到的DRX循环长度系数。

当UE处于Cell _ FACH状态时，UE可以在任何时机进行频内测量。但是，只有在FACH测量时机循环长度系数决定的时间间隔内，UE才能进行频间测量和RAT间测量。FACH测量时机循环长度系数来自SIB类型11或SIB



图 8-1 蜂窝重选测量时机

类型 12 的 FACH 测量时机信息 IE。在 FACH 测量时机内，UTRAN 不会在 FACH 信道上发送任何数据给 UE。因此，UE 可以在不丢失任何当前蜂窝单元数据的前提下，调谐到其他频率或无线接入技术。

当 UE 处于 Cell_DCH 状态时，UE 可以在任何时机进行频内测量。但是，只有在压缩模式间隔中，才能进行频间测量和 RAT 间测量。关于压缩模式的内容，将在第 9 章中介绍。

8.2 蜂窝重选基础

蜂窝重选基础涉及到各种 UE 流程，这些流程在 3GPP 规范 TS25.304[1] 中的接入层部分给出了定义。关于非接入层部分的内容在 3GPP 规范 TS25.122[2] 中进行了描述。

当 UE 开机时，UE 会识别一个公共陆地移动网络（Public Land Mobile Network，PLMN），并利用 7.8.1 节中描述的初始捕获流程来在该 PLMN 中搜索一个合适的蜂窝单元。即使 UE 捕获一个蜂窝单元之后，UE 仍然会不间断地重新选择网络中最合适的蜂窝单元。重新选择新的蜂窝单元是由 UE 自动执行的，同时不会对 UTRAN 产生干扰。但是，UTRAN 会在系统信息消息中提供各种参数，这些系统消息会影响 UE 蜂窝重选的决定。

当 UE 捕获到一个蜂窝单元时，UE 会使用该蜂窝单元提供的服务并调谐到

BCH信道，同时从PLMN中接收系统信息。UE会通过一个NAS注册流程来在被选蜂窝单元的注册区域中进行注册，并且可以通过捕获的RACH信道初次接入网络来建立RRC连接（如果UE需要）。如果PLMN接收到了注册UE的呼叫请求，那么PLMN通常就已经知道了UE捕获蜂窝单元的注册区域，同时可以在注册区域中所有蜂窝单元的PCH信道上给UE发送寻呼消息。之后，UE将会接收到寻呼消息，因为UE已经调谐到了该注册区域中蜂窝单元的控制信道上，然后UE就可以在RACH信道上进行响应。

如果UE没有任何原因而无法找到一个合适的蜂窝单元，那么UE将会尽力接入某一个蜂窝单元，并进入一个服务受限的状态。在该状态下，UE只能进行紧急呼叫。

如果UE寻找到一个更合适的蜂窝单元，那么UE将会重选蜂窝单元，并捕获该蜂窝单元。如果新的蜂窝单元属于不同的注册区域，那么UE将进行位置注册。

8.2.1 蜂窝重选标准

当UE捕获到一个蜂窝单元之后，UE通常会根据蜂窝重选标准来搜索更合适的蜂窝单元。在蜂窝重选过程中，UE会对当前蜂窝单元以及SIB类型11和类型12中提供的相邻蜂窝单元进行各种测量。每个被测量的蜂窝单元都会计算S标准（合适标准）和R标准（等级标准）。所有符合S标准的蜂窝单元都是合适的蜂窝单元，所有的合适蜂窝单元根据R标准都可以分等级。如果最高级蜂窝单元是另一个蜂窝单元，而不是当前服务的蜂窝单元，那么该蜂窝单元就是蜂窝重选的目标。

1. S标准

S标准用来确定一个蜂窝单元是否合适。如果一个蜂窝单元要成为UMTS蜂窝单元，必须满足S标准的必要条件，如式（8-1）和式（8-2）所示：

$$S_{rxlev} > 0 \tag{8-1}$$

$$S_{qual} > 0 \tag{8-2}$$

式中，

$$S_{rxlev} = Q_{rxlevmeas} - Q_{rxlevmin} - P_{compesation} \tag{8-3}$$

$$S_{qual} = Q_{qualmeas} - Q_{qualmin} \tag{8-4}$$

$$P_{compesation} = \max(UE_TX_PWR_MAX_RACH\text{-}P_MAX, 0) \tag{8-5}$$

式中，UE_TX_PWR_MAX_RACH是指PRACH信道上的最大允许发送功率，P_MAX是指UE的最大发送功率，$Q_{rxlevmeas}$是指测得的CPICH RSCP，$Q_{qualmeas}$是指测得的CPICH E_r/I_o，$Q_{rxlevmin}$是指合适蜂窝单元的最小CPICH RSCP，$Q_{qualmin}$是指合适蜂窝单元的最小CPICH E_r/I_o。在当前服务蜂窝单元和

每个相邻的蜂窝单元中，UE 可以从 SIB 类型 11 和 SIB 类型 12 获得如下参数：$Q_{rxlevmin}$、$Q_{qualmin}$和 UE_TX_PWR_MAX_RACH。

对于合适的 GSM 蜂窝单元，只需要满足式（8-1），因为式（8-2）不适用于 GSM 蜂窝单元。

除了满足 S 标准之外，合适的蜂窝单元必须属于当前注册的 PLMN，而且必须没有被禁止，还必须不处于禁区。

2. R 标准

R 标准用来确定当前服务蜂窝单元和其他合适相邻蜂窝单元的等级，最高等级的蜂窝单元就是蜂窝重新流程的目标。当前服务蜂窝单元的 R 标准定义如式（8-6）所示：

$$R_s = Q_{meas,s} + Q_{hyst_s} \tag{8-6}$$

式中，$Q_{meas,s}$是指当前服务蜂窝单元的测量质量，Q_{hyst_s}是指适用于当前蜂窝单元的滞后量。$Q_{meas,s}$可以表示测得的 CPICH RSCP 或 CPICH E_r/I_o。当 $Q_{meas,s}$表示测得的 CPICH RSCP 时，Q_{hyst_s}等于 Q_{hyst1_s}，Q_{hyst1_s}表示在 CPICH RSCP 测量过程中使用的滞后参数。类似地，当 $Q_{meas,s}$表示测得的 CPICH E_r/I_o 时，Q_{hyst_s}等于 Q_{hyst2_s}，Q_{hyst2_s}表示在 CPICH E_r/I_o 测量过程中使用的滞后参数。

相邻蜂窝单元的 R 标准定义如式（8-7）所示：

$$R_n = Q_{meas,n} + Q_{offset_{s,n}} \tag{8-7}$$

式中，$Q_{meas,n}$是指相邻蜂窝单元的测量质量，$Q_{offset_s,n}$是指应用于相邻蜂窝单元的偏移量。$Q_{meas,n}$可以表示测得的 CPICH RSCP 或 CPICH E_r/I_o。当 $Q_{meas,n}$表示测量 CPICH RSCP 时，$Q_{offsets,n}$等于 $Q_{offset1_{s,n}}$，$Q_{offset1_{s,n}}$表示在相邻蜂窝单元 CPICH RSCP 测量过程中使用的偏移量。类似地，当 $Q_{meas,n}$表示测得的 CPICH E_r/I_o 时，$Q_{offset_{s,n}}$等于 $Q_{offset2_{s,n}}$，$Q_{offset2_{s,n}}$表示在相邻蜂窝单元 CPICH E_r/I_o 测量过程中使用的偏移量。

8.2.2　蜂窝重选分级过程

在图 8-2 中，蜂窝重选流程详细描述了蜂窝重选的各个分级过程。其中，第一步就是利用参数 $Q_{rxlevmeas}$（UMTS 系统使用 CPICH RSCP，GSM 系统使用 Rx-lev）、Q_{hyst1_s}和 $Q_{offset1_{s,n}}$来对所有合适的蜂窝单元进行分级。如果 GSM 蜂窝单元是最高级别的蜂窝单元，那么分级过程就完成了。如果 UMTS 蜂窝单元是最高级别的蜂窝单元，那么 UE 将各个检查信息单元（从 SIB 类型 3 或 SIB 类型 4 中接收），以查看其中包含什么内容[3]，并进行蜂窝选择以及重选质量测量。如果信息单元中包含了 CPICH RSCP，那么分级过程就完成了；否则，将利用 $Q_{qualmeas}$、Q_{hyst2_s}和 $Q_{offset2_{s,n}}$来对合适的 UMTS 蜂窝单元重新进行分级。之后，如果在 $T_{reselection}$秒时间内有蜂窝单元的级别单元比当前服务单元高，而且 UE 在当

前蜂窝单元中至少保持了1s，那么UE将选择级别最高的蜂窝单元进行捕获。参数 $T_{reselection}$ 由UTRAN在SIB类型3或SIB类型4中指定[3]。

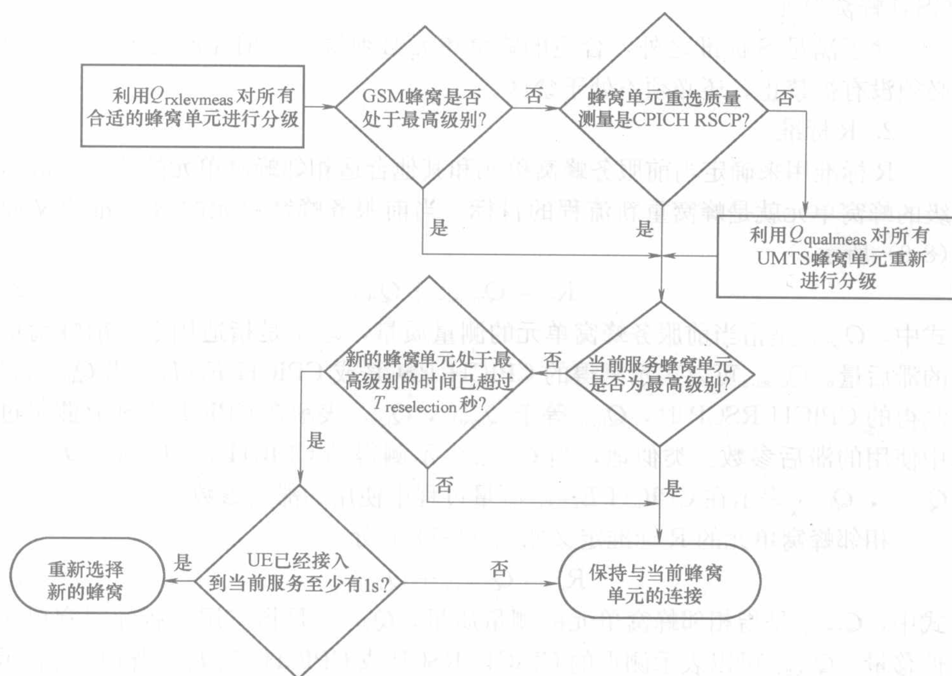


图 8-2 蜂窝重选示例

为了详细描述蜂窝重选的过程，下面将根据图8-3中的例子来阐述在时域中如何选择新的蜂窝单元。在该例子中，蜂窝单元1是初始的服务蜂窝单元。在图8-3中，垂直线表示各个分级，水平线表示时间。在点A处，蜂窝单元2的起点级别高于蜂窝单元1，直到点B。但是，点A和点B之间的时间间隔比 $T_{reselection}$ 短。因此，蜂窝单元2还不能取代蜂窝单元1成为服务蜂窝单元。在点B处，蜂窝单元1再次变成了级别最高的蜂窝单元，从而继续作为服务蜂窝单元。在点C处，蜂窝单元2的级别再次超过蜂窝单元1，成为级别最高的蜂窝单元。而在点D处，蜂窝单元3成了级别最高的蜂窝单元。点C和点D之间的时间间隔仍然比 $T_{reselection}$ 短，因此，蜂窝单元1继续作为点C和点D之间的服务蜂窝单元。在点D和点E之间，蜂窝单元1继续作为服务蜂窝单元，因为蜂窝单元3成为级别最高蜂窝单元的时间没有超过 $T_{reselection}$ 秒。在点E处，蜂窝单元3成为级别最高蜂窝单元的时间已经超过 $T_{reselection}$ 秒，因此从点E处开始，蜂窝单元3就成了服务蜂窝单元。

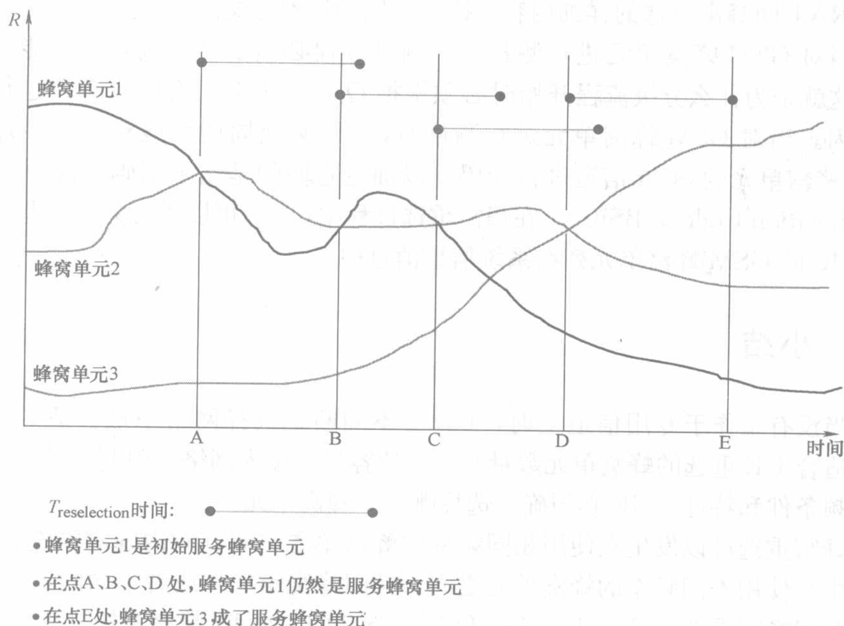


图 8-3

8.2.3 频间蜂窝重选

频间蜂窝重选流程与频内蜂窝重选流程相同。在系统信息中，UTRAN可以包含其他频率上的多达32个蜂窝单元，用于频间蜂窝重选。系统信息中可以包含多达2个附加频率。

UTRAN通过设置$S_{intersearch}$门限值来控制UE是否进行频间蜂窝测量。如果当前服务蜂窝单元质量测量值S_{qual}大于该门限值，那么UE就不需要进行频间蜂窝测量。但是，如果当前服务蜂窝单元没有设置$S_{intersearch}$门限值，那么UE必须进行频间蜂窝测量。关于频间蜂窝重选的详细内容，读者可以阅读参考文献[1]。

8.2.4 RAT间蜂窝重选

RAT间（GSM）蜂窝重选流程与频内蜂窝重新流程相同。在RAT间蜂窝重选中，UTRAN在系统信息消息中可以包含32个GSM蜂窝单元，而且在每个系统信息消息中还可以包含多达32个GSM载频。另外，UTRAN通过设置$S_{search_{RATGSM}}$门限值来控制UE是否进行RAT间蜂窝测量。如果当前服务单元的质量测量S_{qual}值高于该门限值，UE就不需要测量GSM蜂窝单元；如果当前服务

蜂窝单元没有设置 $S_{search_{RATGSM}}$ 门限值，那么UE必须对GSM蜂窝单元进行测量。关于RAT间蜂窝重选的详细内容，读者可以阅读参考文献［1］。

当对GSM蜂窝单元进行测量时，测量过程必须以平均接收信号能量为基础，这就是为什么分级流程开始时必须根据 $Q_{rxlevmeas}$ 来对所有蜂窝单元进行分级的原因。当对GSM蜂窝单元进行测量时，UE必须周期性地对4个最理想的GSM蜂窝单元的SCH信道进行译码，以确定它们的基站识别码（Base Station Identification Codes，BSIC)。在蜂窝重选过程中，UE可以考虑只将那些具有匹配BSIC的GSM蜂窝单元列在系统信息消息中。

8.3 小结

当没有工作于专用信道上时，UE会不间断地选择网络中最合适的蜂窝单元。适合UE重选的蜂窝单元数量与UE的容量和接入网络的限制条件有关。根据射频条件和特性，UE必须确定选择哪一个蜂窝单元。

蜂窝重选可以发生在使用相同频率的蜂窝单元之间（频内蜂窝重选），也可以发生在使用不同频率的蜂窝单元之间（频间蜂窝重选）或者不同的RAT之间(RAT间蜂窝重选)。UMTS FDD和UMTS TDD之间的蜂窝重选过程也可以看作是RAT间蜂窝重选。

为了确定UE是否应该以及何时进行蜂窝重选，UE首先必须对相邻蜂窝单元进行测量。UE测量的时机由UE的状态、测量的类型和UE接收端的容量等因素决定。当UE持续地从当前服务的蜂窝单元中接收信息时，同时也可能会在其他蜂窝单元上进频内测量。但是，对于频间测量和RAT间测量过程来说，如果UE只有一个接收端，那么UE首先必须停止从当前服务蜂窝单元接收信息，并调谐到其他频率上，再进行测量。

当UE捕获到一个蜂窝单元之后，UE通常会根据蜂窝重选标准来搜索更合适的蜂窝单元。在蜂窝重选过程中，UE会对当前蜂窝单元以及SIB类型11和类型12中提供的相邻蜂窝单元进行各种测量。每个被测量的蜂窝单元都会计算S标准（合适标准）和R标准（等级标准)，所有符合S标准的蜂窝单元都是合适的蜂窝单元；所有的合适蜂窝单元根据R标准都可以分等级，最高级别的蜂窝单元就是蜂窝重选的目标。

频间蜂窝重选过程和RAT间蜂窝重选过程与频内蜂窝重选过程基本相同。在频间蜂窝重选过程中，UTRAN可以在系统信息消息中包含多达32个其他频率的蜂窝单元和2个附加频率。UTRAN利用 $S_{intersearch}$ 门限值来控制UE是否进行频间蜂窝测量。类似地，在RAT间蜂窝重选中，UTRAN在系统信息消息中可以包含多达32个GSM蜂窝单元和32个GSM频率。另外，UTRAN通过设

置 $S_{search_{RATGSM}}$门限值来控制 UE 是否进行 RAT 间蜂窝测量。

参考文献

[1] 3GPP TS 25.304，v5.3.0. UE procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connection mode，Release 5.

[2] 3GPP TS 23.122，v5.3.0. NAS functions related to Mobile Station (MS) in idle mode，Release 5.

[3] 3GPP TS 25.331，v5.7.1. Radio Resource Control (RRC) protocol specification，Release 5.

第9章　切　　换

切换的目的是当UE在网络中移动时，可以保持连接的不间断，同时保证无线链路质量不发生变化。3GPP规范［1］中定义了各种类型的切换，包括软切换、更软切换、硬切换和无线接入技术间的切换（RAT间切换）。

其中，软切换过程在中断原先连接之前，会与一个新的Node B建立连接。在软切换过程中，UE至少与两个Node B之间同时保持连接。在上行链路中，RNC会在从无线链路中接收到的各个帧中选择最佳的帧。

更软切换发生在相同Node B内UE和蜂窝单元之间的无线链路中，它是一个Node B内的切换。在更软切换过程中，Node B会合并从无线链路中接收到的信号，同时对合并后的信号进行解调，并将信息发送到RNC中。

硬切换过程在建立新的连接之前，会中断原先的连接，因此在硬切换过程中，通信过程会产生一次很明显的中断。当无线链路需要转换到另一个载频上或另一个RAT中时，就会发生硬切换。如果某个物理信道需要重新配置（如时隙结构改变），也可能发生硬切换。如果当前连接不支持Iur接口，无线链路就必须从一个Node B硬切换到另一个属于不同RNC的Node B中。

在所有的切换过程进行之前，首先必须评估无线链路的情况。切换评估过程包括两种类型：网络评估切换（在该评估切换过程中，切换是由网络的评估值来触发的）和UE评估切换（在该评估切换过程中，切换是由UE的评估值来触发的）。

在UE评估切换过程中，当UTRAN设定的报告条件满足时，UE将会向UTRAN报告测量情况。根据UE报告的情况，UTRAN负责执行相关的流程来添加、丢弃或替代无线链路。接下来，我们将重点描述测量/报告、软切换/更软切换、频间切换、RAT间切换和压缩模式下切换等内容。

9.1　UE测量与报告

UE测量与报告是切换流程中的一部分，但不是所有的测量与报告都只用于切换过程中。UTRAN通过SIB类型11中广播的测量信息或通过发送一个测量控制消息，来控制UE上的测量过程。UE测量与报告信息中包含以下参数：测量标识、测量命令、测量类型、测量报告标准、测量有效性、测量报告模式和附加的测量标识[2]。这些测量参数已经在4.8.1节中给予了介绍，接下来将简要描

述一下这些参数。

测量标识是UTRAN在建立、修改或释放测量过程时使用的参考编号，也可以由UE用于测量报告。

测量命令包括建立、修改或释放命令。建立命令要求UE建立一个新的测量过程；修改命令要求UE修改之前定义的测量过程；释放命令要求UE停止测量，并清除UE中所有与测量过程有关的信息。

测量目标列出了UE测量的所有对象，其中包含了相应的目标信息。

测量参数给出了UE对测量对象进行测量的量值（CPICH E_c/I_o、CPICH RSCP或路径丢失次数），其中包含了测量结果的过滤次数。

报告参数中除了包含指定事件的强制性报告参数之外，还包含了UE必须包含在报告中的各种报告参数，包括蜂窝单元标识、CPICH E_c/I_o、CPICH RSCP、路径丢失、观察时差和蜂窝同步信息。

测量报告标准定义了测量报告的触发条件，如周期性的报告或者基于事件触发的报告。其中，周期性的报告可以用于频内、频间或RAT间测量。如果测量过程配置成周期性报告，那么测量报告每隔一段指定的时间间隔就会发送一次，时间间隔的范围为250 ms～64 s。如果测量过程配置成基于事件触发的，那么测量报告只会在事件发生之后或触发定时周期截止之后才发送。

测量有效性定义了各种UE执行测量的状态，包括Cell_DCH状态、空闲模式、Cell_FACH状态、Cell_PCH状态或URA_PCH状态。除了Cell_DCH状态之外，其他所有状态下UE进行的测量都可以用于蜂窝重选。但是，当UE转换到Cell_DCH状态之后，在RACH消息中报告的测量内容就可以被UTRAN用于软切换和更软切换。

测量报告模式指明了UE是否必须利用AM或UM传输模式来发送测量报告。

附加测量标识是一列关于之前配置测量的参考编号，无论关于当前测量的测量报告过程何时触发，都必须报告这些之前配置的测量。

测量类型定义了各种测量过程，包括频内测量、频间策略、RAT间测量、流量测量、质量测量、UE内部测量和UE定位测量等。

9.1.1 切换过程中的UE测量

在切换过程中，当UE进行呼叫建立或处于Cell_DCH状态时，就会进行UE测量。

当UE进行呼叫建立时，会使用相关的测量及报告参数，这些参数由UTRAN通过SIB类型11进行广播。UE只负责对蜂窝单元进行测量，而不会进行过滤，也不会在RACH信道上将结果报告给UTRAN。之后，UTRAN将对

结果进行评估，并决定UE是否进入软切换/更软切换，或者在呼叫过程启动之前建立一个单链接。UTRAN负责对包含到动态集中的蜂窝进行标识，并在UTRAN侧准备无线链路，然后发送相应的命令到UE。因此，呼叫建立过程中的软切换可以看作是一个网络评估切换。

在Cell_DCH状态中，测量与报告的初始信息也是在SIB类型11或SIB类型12中广播。进入Cell_DCH状态之后，UE就会启动测量过程，并对测量结果进行评估。如果测量结果满足测量信息中定义的报告标准，那么UE将会发送一个事件测量报告给UTRAN。

当UE处于Cell_DCH状态中时，UTRAN会利用AM RLC在下行DCCH信道上发送一个测量控制消息给请求UE，来建立、修改或释放测量过程。该控制消息会告诉UE执行什么测量，以及应该在哪一个蜂窝单元上执行测量。测量控制消息还定义了UE如何以及何时应该发送一个测量报告消息给UTRAN。切换过程中的测量类型包括软切换和更软切换过程的频内测量、硬切换过程的频间测量和RAT间测量。

当UTRAN接收到UE的测量报告之后，UTRAN会为UE添加或删除无线连接。UTRAN中的无附加评估过程用来决定切换动作，因为该决定已经由UE做出。也就是说，实际的切换算法位于UE中，UTRAN只是通过设定测量与报告流程中的参数来定义切换规则。如前所述，这些参数中的信息既可以在SIB类型11中广播，也可以通过测量控制消息来发送给UE。通常，无论UE何时进入网络，切换参数都可能需要改变，而正是测量控制消息承载了新的参数，这些新参数是为UE设定的。

9.2 蜂窝单元的分类

UE持续追踪的蜂窝单元可以划分成3种独立的类型：动态集、被监控集和被检测集。

1. 动态集

动态集中的蜂窝单元都处于UE的软切换或更软切换过程中。动态集中蜂窝单元发送的信号会同时被UE解调和进行相干性合并。UE对动态集中蜂窝单元进行测量和报告，以检测各种意外情况。在这些情况中，动态集蜂窝单元的信号质量变得非常弱，以至于无法使用。在对动态集中蜂窝单元进行测量和报告的过程中，允许UTRAN通过RRC动态集更新流程从动态集中删除蜂窝单元。动态集的大小与业务有关，通常动态集中只包含3个或4个蜂窝单元。一个事件的报告蜂窝单元的最大数量与动态集的大小有关，因为如果实际的动态集很小，那么被报告的蜂窝单元数量再大也没有任何意义。另外，动态集只适用于频内切换过

程。在频间切换过程，UTRAN 会定义一个虚拟的动态集。

2. 被监控集

该类型的蜂窝单元集不是动态集的一部分，但如果满足某个报告标准，也可以由 UE 进行测量和报告。被监控集通常是相邻蜂窝列表中的一个子集，该子集由 UTRAN 利用相邻蜂窝列表选择算法进行更新。处于被监控集中的蜂窝单元基本上都是切换的目标。当被监控集中一个蜂窝单元的信号强度上升到一定的程度时，UE 就会发送一个测量报告给 UTRAN，并触发 UTRAN 将该蜂窝单元添加到动态集中。当一个蜂窝单元添加到动态集中之后，如果动态集中蜂窝单元的数量超过了动态集的大小，那么动态集就会删除另一个蜂窝单元。

3. 被检测集

当测量动态集和被监控集中的蜂窝单元时，UE 可以检测其他不属于这两个蜂窝单元集的蜂窝单元，被检测到的蜂窝单元就成为了被检测集中的成员。换句话说，被检测集中包含的都是 UTRAN 提供的动态集和被监控集中没有列出、但被 UE 检测到的蜂窝单元。UE 可以向 UTRAN 报告被检测到的蜂窝单元，同时触发 UTRAN 将该蜂窝单元添加到被监控集中或动态集中。但是，假设被检测到的蜂窝单元可以被测量，而且也可以被 UE 报告给 UTRAN，只有当该蜂窝单元实际上属于某个当前动态集蜂窝单元的相邻蜂窝列表时，才可以添加到动态集中。如果该蜂窝单元没有在动态集蜂窝单元的任何相邻列表中注册的话，那么该蜂窝单元就不能添加到动态集中。这种情况下，相邻蜂窝单元列表就必须重新优化，或者必须对其他射频参数进行调整（如该蜂窝单元的天线方位角和斜率），以便该蜂窝单元以后不会被 UE 检测到。

如果测量控制消息中包含了蜂窝单元测量 IE，那么就只需要对那些由指定频内（分别为频间和 RAT 间）测量 IE 精确指明的被监控集蜂窝单元进行测量；如果测量控制消息中不包含蜂窝单元测量 IE，那么必须对变量 CELL_INFO_LIST 中存储的所有频内蜂窝单元进行测量。例如，当触发条件涉及到动态集蜂窝单元时，无论动态集中的蜂窝单元是否由蜂窝单元测量 IE 精确指明，UE 都必须在测量过程的 CELL_INFO_LIST 中考虑所有的动态集蜂窝单元。

9.3 软切换和更软切换

如前所述，当 UE 处于呼叫建立过程或者处于 Cell_DCH 状态中时，就可以进行软切换和更软切换。

9.3.1 呼叫建立过程中的软切换和更软切换

在 UE 呼叫过程中，如果 UE 正在从空闲模式、Cell_PCH 状态或 URA_

PCH状态向Cell_DCH状态转换，那么UE可以直接进入软切换或更软切换过程。在呼叫建立过程中，UE根据SIB类型11中广播的测量信息来执行测量过程，并将测量结果和RRC连接请求消息在RACH信道上一起报告给UTRAN。广播测量信息包括测量与报告次数、相邻蜂窝单元信息和RACH信道上报告蜂窝单元的最大数量。

相邻蜂窝单元信息中包含了主下行扰码，该扰码在当前UE蜂窝单元的相邻蜂窝单元中使用。被报告的最大蜂窝单元数量由UTRAN决定，相邻蜂窝单元的总数量可以达到6个，外加1个当前蜂窝单元。通常，建议除了当前蜂窝单元之外，UE最好报告两个性能最好的相邻蜂窝单元。但在绝大多数情况下，在RACH信道上只报告当前的蜂窝单元。如前所述，过滤功能不适用于即将在RACH信道上报告结果的测量过程。

一旦UTRAN从UE接收到测量报告，那么UTRAN将会检查报告蜂窝单元是否足够好，以便在呼叫建立过程中利用某个标准来将其包括在动态集中。例如，如果除了当前蜂窝单元之外，还有一个报告蜂窝单元满足式（9-1）给定的标准，那么该蜂窝单元就会被包括在动态集中。

$$(\text{CPICH } E_c/I_o)_i > (\text{CPICH } E_c/I_o)_{\text{current}} - (\text{CPICH } E_c/I_o)_{\text{SHOthreshold}} \quad (9\text{-}1)$$

式中，$(\text{CPICH } E_c/I_o)_i$ 是指第 i 个报告蜂窝单元的测量导频 E_c/I_o，$(\text{CPICH } E_c/I_o)_{\text{current}}$ 是指当前蜂窝单元的测量导频 E_c/I_o，$(\text{CPICH } E_c/I_o)_{\text{SHOthreshold}}$ 是指滞后参数。

在呼叫建立过程中，如果除了当前蜂窝单元之外，动态集中还包含了一个或多个蜂窝单元，那么在UE发送RRC连接建立完成消息之前（该消息用来提醒UE转换到Cell_DCH状态），就必须建立UE与这些蜂窝单元之间的所有无线连接。如果出于某种原因，至少有一个无线连接无法建立，那么呼叫就无法建立，所有相关的资源就会被释放。

如果除了当前蜂窝单元之外，动态集中没有其他的蜂窝单元，那么就只建立UE与当前蜂窝单元之间的连接。类似地，如果出于某种原因，UE与当前蜂窝单元之间的连接无法建立，那么呼叫就无法建立，所有相关的资源就会被释放。

9.3.2　Cell_DCH状态中的软切换和更软切换

当UE进入Cell_DCH状态中时，UE会存储所有从SIB类型11消息中接收到的相关信息，从而继续执行测量过程，并发送测量报告。在Cell_DCH状态中，UE在每个测量周期内会对频内测量过程取样一次，测量周期的长度为200 ms[3]。在测量取样之后，UE会根据式（9-2）来对测量参数进行过滤

$$F_n = (1-\Psi)F_{n-1} + \Psi M_n \quad (9\text{-}2)$$

式中，F_n 是指最新的过滤测量结果；F_{n-1} 是指之前的过滤测量结果；M_n 是

指最近从物理层测量过程中接收到的测量结果；Ψ 是指滤波器因子，$\Psi=1/2^{(k/2)}$，其中 k 是指从滤波器系数 IE 中接收到的参数。M_n 中使用的蜂窝单元与测量报告消息中的蜂窝单元或事件评估中使用的蜂窝单元相同。过滤过程必须由 UE 在事件评估之前执行。

为了初始化平均滤波器，当从物理层的测量过程中接收到首次测量的结果时，F_0 首先设定为 0。过滤过程禁止出现大幅波动的 UE 测量结果。滤波器系数 k 会影响指定给测量过程的加权值。滤波器系数值越大，之前的测量过程对最新测量过程的影响就越大。如果 k 的值为 0，那么就不需要过滤过程。通常，滤波器的系数值越低，高速 UE 执行快速软切换的速度就越快，但同时也可能会对低速 UE 产生“乒乓”效应。

1. 频内报告事件

过滤之后，得到的测量结果将会与为事件触发报告定义的门限值进行比较。UMTS 标准为频内 FDD 测量过程定义了 6 种主要的报告事件，分别为 1A、1B、1C、1D、1E 和 1F。这 6 种报告事件中大多数都对 UMTS 切换/更软切换过程非常重要。事件 1A 和 1E 通常用来向 UTRAN 说明何时应该将一个新的蜂窝单元添加到动态集中；事件 1B 和 1F 通常用来向 UTRAN 说明何时应该从动态集中删除一个蜂窝单元；事件 1C 通常用来向 UTRAN 说明动态集中的蜂窝单元何时被不同的蜂窝单元替代；事件 1D 对于切换过程不太重要，在此不作讨论。

在上面提到的各种事件中，都指定了各种参数，这些参数定义了各种触发条件和报告规则，其中触发条件和报告规则适用于不同类型的蜂窝单元。这些参数包括报告设置蜂窝单元、UE 根据事件触发条件发送报告的最大次数以及测量报告的周期性，这些参数在 SIB 类型 11 中广播或者在测量控制消息中发送。每个报告事件的这些参数都是独立设定的。

在网络优化的初始阶段，报告设置蜂窝单元中包括了被监控集和被检测集中的蜂窝单元，用于相邻列表优化。但是，当网络处于正常工作模式中时，只有被监控集中的蜂窝单元才可以添加到动态集中，这样可以尽量减小导频搜索处理时间，从而加速切换报告过程。

在接下来的内容中，我们将以 CPICH E_c/I_0 为例子详细描述报告事件 1A、1B、1C、1D、1E 和 1F 的测量和报告参数。目前，大多数网络设备提供商只支持事件 1A、1B 和 1C。

（1）报告事件 1A　当一个主 CPICH 进入报告范围时，就会触发报告事件 1A，在这种情况下，当前蜂窝单元就会被添加到动态集中。报告范围是根据对该蜂窝单元和当前动态集蜂窝单元的测量结果以及对从 UTRAN 接收到的测量信息来计算的。一个蜂窝单元进入报告范围的触发条件如式（9-3）所示[2]：

$$10\lg(M_{\mathrm{New}})+\mathrm{CIO}_{\mathrm{New}}\geqslant$$

$$W_{1A}10\lg\left\{\sum_{i=0}^{N_A}M_i\right\}+(1-W_{1A})10\lg(M_{Best})-(R_{1A}-H_{1A}/2) \quad (9\text{-}3)$$

式中，M_{New}是指对进入报告范围的蜂窝单元进行测量的结果；M_i 是指影响动态集中报告范围的测量结果；M_{Best}是指动态集中信号最强的蜂窝单元的测量结果；N_A 是指影响当前动态集中报告范围的蜂窝单元的数量；W_{1A}是指加权常量，其值范围为 0.0～2.0，每次只增加 0.1；R_{1A}是指事件 1A 的报告范围常量，单位为 dB；H_{1A}是指事件 1A 的滞后值，单位为 dB；CIO_{New}是指进入报告范围的蜂窝单元的偏移量。

如果触发时间（Time-to-Trigger）说明式（9-3）已经满足一段时间，那么事件 1A 就会被触发，并报告给 UTRAN。

图 9-1 给出了事件 1A 发生的示意图，其中假设动态集的大小等于 3，加权常量等于 0。在图 9-1 的初始阶段，P-CPICH 1 和 P-CPICH 2 都位于动态集中，UE 处于双向切换过程中。当 P-CPICH 3 进入报告范围（其值高于 P-CPICH 1 减去报告范围值）时，事件 1A 就会被检测到。在触发时间之后，事件 1A 就会被报告给 UTRAN。

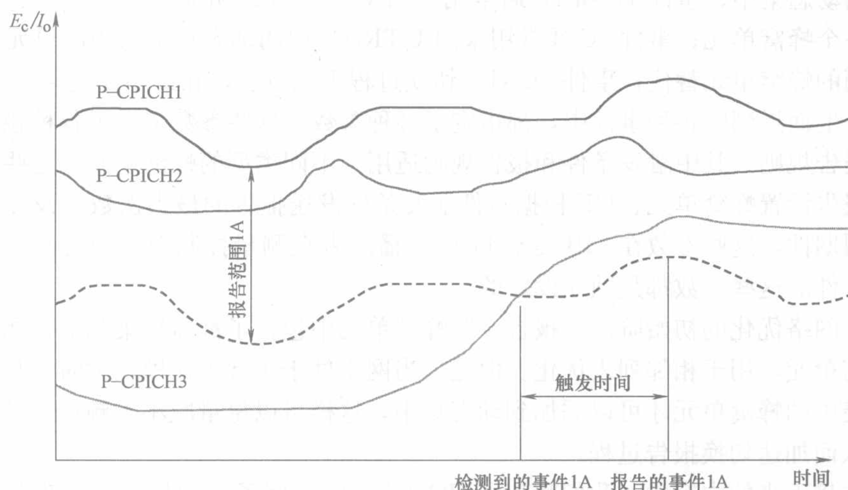


图 9-1　事件 1A（其中动态集大小等于 3）

通常，在接收到第 1 个 UE 发送的测量报告消息之后，UTRAN 应该通过 RRC 动态集更新流程来执行切换/软切换过程，并将 P-CPICH 3 添加到动态集中，这时 UE 就处于三向切换过程中。但是，在有些情况中，UTRAN 可能无法成功初始化软切换流程，因为测量报告消息无法被成功译码，或者 Node B 中没有足够的资源可供利用。如果出现这种情况，那么 UE 将会在预定的时间间隔内利用周期性报告过程来继续报告，直至达到基于事件触发报告的最大次数。值得

注意的是，这种基于事件触发的周期性报告过程是根据全局周期性报告单独配置的，只能用于事件 1A 和事件 1C。

（2）报告事件 1B　当一个主 CPICH 离开报告范围时，就会触发报告事件 1B。只有在当前动态集的大小比 1 大时，才可能发生事件 1B。在这种情况下，就会从动态集中删除一个蜂窝单元。一个蜂窝单元离开报告范围的触发条件如式（9-4）所示[2]：

$$10\lg(M_{\text{Old}})+\text{CIO}_{\text{Old}}\geqslant$$

$$W_{1B}10\lg\left\{\sum_{i=0}^{N_A}M_i\right\}+(1-W_{1B})10\lg(M_{\text{Best}})-(R_{1B}-H_{1B}/2) \tag{9-4}$$

式中，M_{Old}是指离开报告范围的蜂窝单元的测量结果；M_i 是指影响动态集中报告范围的测量结果；M_{Bset}是指动态集中信号最强的蜂窝单元的测量结果；N_A 是指影响当前动态集中报告范围的蜂窝单元的数量；W_{1B}是指加权常量，其值范围为 0.0～2.0，每次只增加 0.1；R_{1B}是指事件 1B 的报告范围常量，单位为 dB；H_{1B}是指事件 1B 的滞后值，单位为 dB；CIO_{Old}是指离开报告范围的蜂窝单元的偏移量。

如果触发时间说明式（9-4）已经满足一段时间，那么事件 1B 就会被触发，并报告给 UTRAN。

图 9-2 给出了事件 1B 发生的示意图，其中假设动态集的大小等于 2，加权常量等于 0。在图 9-2 的初始阶段，P-CPICH 1 和 P-CPICH 2 都位于动态集中，UE 处于双向切换过程中。当 P-CPICH 2 离开报告范围（其值低于 P-CPICH 1 减去报告范围值）时，事件 1B 就会被检测到。在触发时间之后，事件 1B 就会

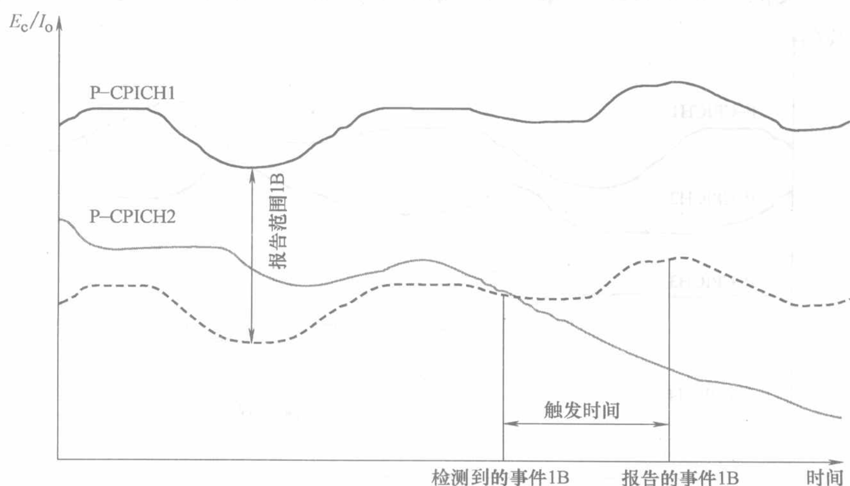


图 9-2　事件 1B（其中动态集大小等于 2）

被报告给 UTRAN。在从 UE 接收到测量报告后，UTRAN 会从动态集中将 P-CPICH 2 删除，UE 就不再处于软切换过程中了。

对于事件 1B 来说，基于事件触发的最大报告次数和报告周期都是未定的。例如，当事件 1B 被触发时，UE 只会发送一个测量报告。

（3）报告事件 1C 如果动态集已满，当被监控集中的主 CPICH 变得比动态集中最弱的主 CPICH 强时，就会触发报告事件 1C。在这种情况下，动态集中最弱的主 CPICH 就会被删除，被监控集中更强的主 CPICH 就会被添加到动态集中。事件 1C 的触发条件如式（9-5）所示[2]：

$$10\lg(M_{\text{New}})+\text{CIO}_{\text{New}}\geqslant 10\lg(M_{\text{InAS}})+\text{CIO}_{\text{InAS}}+H_{1\text{C}}/2 \quad (9\text{-}5)$$

式中，M_{New}是指动态集中对最佳候选蜂窝单元的测量结果；M_{InAS}是指动态集中对最差蜂窝单元的测量结果；CIO_{InAS}是指动态集中最差蜂窝单元的偏移量；$H_{1\text{C}}$是指事件 1C 的滞后值；CIO_{New}是指信号强度比动态集中蜂窝单元更强的蜂窝单元的偏移量。

如果触发时间说明式（9-5）已经满足一段时间，那么事件 1C 就会被触发，并报告给 UTRAN。

图 9-3 给出了事件 1C 发生的示意图，其中假设动态集的大小等于 3。在图 9-3 的初始阶段，P-CPICH 1、P-CPICH 2 和 P-CPICH 3 都位于动态集中，UE 处于三向切换过程中。当 P-CPICH 4 变得比 P-CPICH 3 更强时，事件 1C 就会被检测到。在触发时间之后，事件 1C 就会被报告给 UTRAN。在从 UE 接收到测量报告后，UTRAN 会利用 P-CPICH 4 来替换动态集中的 P-CPICH 3，而 UE 仍然处于三向切换过程中了。

类似于事件 1A，在某些异常情况下，如果 UTRAN 无法通过发送动态

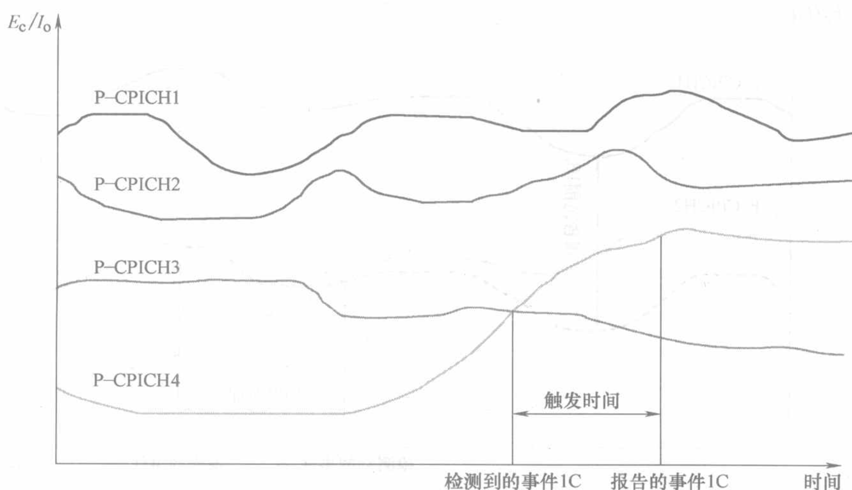


图 9-3 事件 1C（其中动态集大小等于 3）

集更新消息给 UE 来响应测量报告消息，那么 UE 就会开始使用周期性报告流程。

(4) 报告事件 1E 当一个主 CPICH 高于门限值时，就会触发报告事件 1E。事件 1E 的触发条件如式 (9-6) 所示[2]：

$$10\lg(M_{\mathrm{New}}) + \mathrm{CIO}_{\mathrm{New}} \geqslant T_{1\mathrm{E}} + H_{1\mathrm{E}}/2 \tag{9-6}$$

式中，M_{New}是指主 CPICH 高于绝对门限值的蜂窝单元的测量结果；$\mathrm{CIO}_{\mathrm{New}}$是指主 CPICH 高于绝对门限值的蜂窝单元的偏移量；$T_{1\mathrm{E}}$是指绝对门限值；$H_{1\mathrm{E}}$是指事件 1E 的滞后值。

如果触发时间说明式 (9-6) 已经满足一段时间，那么事件 1E 就会被触发，并报告给 UTRAN。在从 UE 接收到一个用于报告事件 1E 的测量报告消息之后，UTRAN 就会将报告蜂窝单元添加到动态集中。

图 9-4 给出了事件 1E 发生的示意图。在图 9-4 的初始阶段，包含了两个导频 P-CPICH 1 和 P-CPICH 2，而 UE 处于双向切换过程中。当导频 P-CPICH 3 变得高于绝对门限值时，事件 1E 就会被检测到。在触发时间之后，事件 1E 就会被报告给 UTRAN。在从 UE 接收到测量报告后，UTRAN 就会将 P-CPICH 3 添加到动态集中，而 UE 此时处于三向切换过程中。

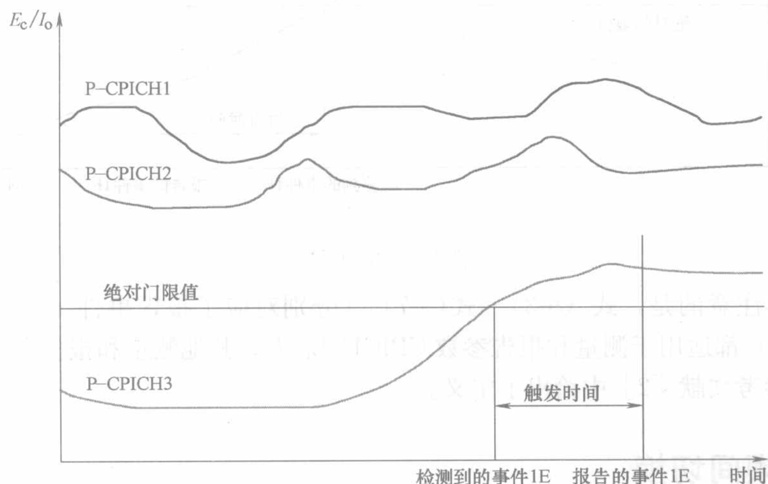


图 9-4 事件 1E

(5) 报告事件 1F 当动态集中的主 CPICH 低于门限值时，就会触发报告事件 1F。事件 1F 的触发条件如式 (9-7) 所示[2]：

$$10\lg(M_{\mathrm{Old}}) + \mathrm{CIO}_{\mathrm{Old}} \leqslant T_{1\mathrm{F}} - H_{1\mathrm{F}}/2 \tag{9-7}$$

式中，M_{Old}是指主 CPICH 低于绝对门限值的蜂窝单元的测量结果；$\mathrm{CIO}_{\mathrm{Old}}$是指主 CPICH 低于绝对门限值的蜂窝单元的偏移量；$T_{1\mathrm{F}}$是指绝对门限值；$H_{1\mathrm{F}}$

是指事件1F的滞后值。

如果触发时间说明式（9-7）已经满足一段时间，那么事件1F就会被触发，并报告给UTRAN。在从UE接收到一个用于报告事件1E的测量报告消息之后，UTRAN就会将报告蜂窝单元从动态集中删除。

图9-5给出了事件1F发生的示意图。在图9-5的初始阶段，包含了两个导频P-CPICH 1和P-CPICH 2，而UE处于双向切换过程中。当导频P-CPICH 2变得低于绝对门限值时，事件1F就会被检测到。在触发时间之后，事件1F就会被报告给UTRAN。在从UE接收到测量报告后，UTRAN就会将P-CPICH 2从动态集中删除，而UE此时不再处于切换过程中了。

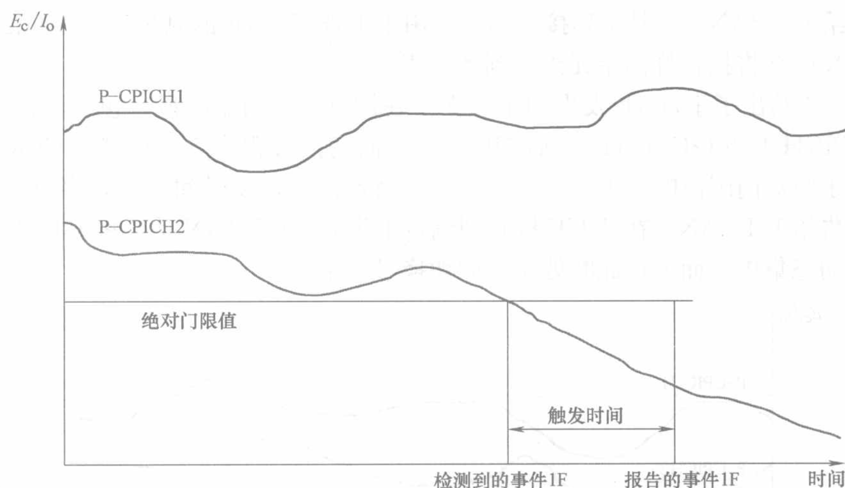


图9-5 事件1F

值得注意的是，式（9-3）～式(9-7)（分别对应了报告事件1A、1B、1C、1E和1F）都适用于测量和报告参数CPICH E_c/I_o。其他测量和报告参数的触发条件在参考文献［2］中给出了定义。

9.4 频间切换

在频间切换过程中，UTRAN会在测量控制消息中发送一个频间测量和报告信息。该消息中包含了关于频间测量的各种信息，这些信息大多数都与频内测量中的信息基本相同，但也存在差别，如下所述。

频间测量中的蜂窝信息列表中包含的信息与频内测量蜂窝中的基本相似，但是每个蜂窝单元的频率不同。报告参数包括频间测量和频内测量的报告参数。另外还有一个频间集更新参数，该参数定义了虚拟动态集的变化情况。除了频内测

量报告标准（该标准定义了频间蜂窝单元的频内报告事件）之外，还有频间测量报告标准（该标准定义了报告事件 2A～2F 和相应的频间测量参数，包括门限值和触发时间）。

9.4.1 虚拟动态集

所有的频间测量过程都应用了虚拟动态集的概念，一个虚拟动态集就是一组拥有未使用过的频率的最好蜂窝单元，每个未使用过的频率对应了一个虚拟动态集。虚拟动态集可以由 UE 或 UTRAN 进行自动更新。关于虚拟动态集更新的内容，在参考文献［2］中给出了详细讨论。

9.4.2 频间切换流程

频间切换流程包括 3 个步骤：第 1 步，UE 必须检测并报告有一个新的频率比当前使用的频率更合适，UTRAN 会根据蜂窝单元的负载情况和其他标准来决定是否将 UE 切换到新的频率下；第 2 步，对新频率上的最佳蜂窝单元进行标识，也就是说 UE 必须在该新频率上进行蜂窝单元指定的测量，并将测量结果报告给 UTRAN；第 3 步即最后一步，UTRAN 指导 UE 切换到新的频率下。

第 1 步是由频间报告事件 2A～2F 来描述的，这些报告事件是以频率质量评估的计算结果为基础的。在频率质量评估计算过程中，动态集中的蜂窝单元通常用于当前使用的频率，而虚拟动态集中的蜂窝单元通常用于新的频率。事件 2A～2F中使用的频率质量评估如式（9-8）所示：

$$
\begin{aligned}
Q_{\text{frequency } j} &= 10\lg(M_{\text{frequency } j}) \\
&= W_j \, 10\lg\left\{\sum_{i=1}^{N_{Ai}} M_{ij}\right\} + (1-W_j)10\lg(M_{\text{Best } j}) \qquad (9\text{-}8)
\end{aligned}
$$

式中，$Q_{\text{frequency } j}$是指频率 j 上虚拟动态集的评估质量，单位为 dB；$M_{\text{frequency } j}$是指频率 j 上虚拟动态集的十进制评估质量；M_{ij}是指频率 j 上虚拟动态集中蜂窝单元 i 的测量结果；N_{Ai}是指频率 j 上虚拟动态集中蜂窝单元的数量；$M_{\text{Best } j}$是指频率 j 上虚拟动态集中蜂窝单元的最佳测量结果；W_j 是指从 UTRAN 发送到 UE 的一个参数，在频率 j 中使用。

在第 2 步中，频内报告事件 1A～1C 都在新的频率上进行配置，此时虚拟动态集被看作是一个真实的动态集，直到新的频率确定。虚拟动态集中的蜂窝单元定义了事件 1A 和 1B 的报告范围。当一个不属于虚拟动态集的蜂窝单元变得比虚拟动态集中的蜂窝单元更合适时，就会触发事件 1C。

9.4.3 频间报告事件

如前所述，频间报告事件包括事件 2A～2F，接下来将详细介绍这些报告事件。

1. 报告事件2A

报告事件2A用于改变最佳频率。如果事件2A由UE在测量过程中进行配置，那么当测量过程启动时或重新开始时，UE将会将当前使用的频率看作是最佳频率，并将其存储在变量BEST_FREQUENCY_2A_EVENT中。

当另一个频率的质量评估结果比当前频率的评估结果好时，就会触发报告事件2A，触发条件如式（9-9）所示：

$$Q_{\mathrm{NoteBest}} \geqslant Q_{\mathrm{Best}} + H_{2\mathrm{A}}/2 \tag{9-9}$$

式中，Q_{NoteBest}是指新频率的质量评估，Q_{Best}是指当前频率的质量评估，$H_{2\mathrm{A}}$是指事件2A的滞后参数。

如果触发时间说明式（9-9）已经满足一段时间，那么事件2A就会被触发。之后，UE将发送一个测量报告给UTRAN，并更新频率的变量BEST_FREQUENCY_2A_EVENT。UTRAN可以根据蜂窝单元负载情况和其他标准来决定UE是否切换到新的频率。

2. 报告事件2B

如果当前使用频率的质量评估值低于一定的门限值，而某个未使用频率的质量评估值高于该门限值，就会触发报告事件2B。当事件2B的频间测量配置过程已经建立时，UE将增加与该测量过程相关的变量TRIGGERED_2B_EVENT，该变量最开始为空。当测量过程被释放时，UE就会删除该变量。

当事件2B在UE的测量过程中进行配置时，如果触发时间说明未使用频率满足以下两个条件，那么事件2B就会被触发，如式（9-10）和式（9-11）所示：

$$Q_{\mathrm{Non\ used}} \geqslant T_{\mathrm{Non\ used\ 2B}} + H_{2\mathrm{B}}/2 \tag{9-10}$$

$$Q_{\mathrm{Used}} \geqslant T_{\mathrm{Used\ 2B}} - H_{2\mathrm{B}}/2 \tag{9-11}$$

式中，$Q_{\mathrm{Non\ used}}$是指主CPICH高于绝对门限值的未使用频率的质量评估值；$T_{\mathrm{Non\ used\ 2B}}$是指绝对门限值，该门限值应用在未使用频率的测量过程中；$H_{2\mathrm{B}}$是指事件2B的滞后参数；Q_{Used}是指使用过的频率的质量评估值；$T_{\mathrm{Used\ 2B}}$是指绝对门限值，该门限值应用在使用过的频率的测量过程中。

之后，UE会将触发事件2B的未使用频率存储到变量TRIGGERED_2B_EVENT中，并发送一个测量报告给UTRAN。

触发事件2B的未使用频率可能有很多个，在这种情况下，如果变量TRIGGERED_2B_EVENT中还不包含这些未使用频率，那么UE必须将它们存储到该变量中。发送到UTRAN的测量报告中必须包含这些未使用频率的频率信息和测量结果，其中最佳频率的相关信息和测量结果排在最前面。UTRAN可以根据蜂窝单元的负载情况和其他标准来决定UE是否切换到变量TRIGGERED_2B_EVENT中的最佳频率上。

存储在变量TRIGGERED_2B_EVENT中的未使用频率和变量TRIG-

GERED _ 2B _ EVENT 本身可能不会一直存在，因为如果存储的未使用频率满足式（9-12）中的条件，那么该未使用频率就会从变量 TRIGGERED _ 2B _ EVENT 中删除。

$$Q_{\text{Non used}} < T_{\text{Non used 2B}} - H_{2B}/2 \tag{9-12}$$

另外，如果使用过的频率满足式（9-13），那么 UE 就会清空变量 TRIGGERED _ 2B _ EVENT。

$$Q_{\text{Used}} > T_{\text{Used 2B}} + H_{2B}/2 \tag{9-13}$$

3. 报告事件 2C

如果未使用频率的质量评估值高于一定的门限值，就会触发报告事件 2C。报告事件 2C 被触发之后，UE 的处理过程与事件 2B 中的类似。当事件 2C 的频间测量配置过程已经建立时，UE 必须增加与该测量过程相关的变量 TRIGGERED _ 2C _ EVENT，该变量最开始为空。当测量过程被释放时，UE 就会删除该变量。

当事件 2C 在 UE 的测量过程中进行配置时，如果触发时间说明一个或多个未使用频率已经满足式（9-14）一段时间，那么事件 2C 就会被触发。

$$Q_{\text{Non used}} \geqslant T_{\text{Non used 2B}} + H_{2C}/2 \tag{9-14}$$

式中，$T_{\text{Non used 2B}}$是指绝对门限值，该门限值应用在未使用频率的测量过程中；H_{2C}是指事件 2C 的滞后参数。

之后，UE 会将触发事件 2C 的未使用频率存储到变量 TRIGGERED _ 2C _ EVENT 中，并发送一个测量报告给 UTRAN。测量报告中包含了关于这些未使用频率的频率信息和测量结果，其中最佳频率的相关信息和测量结果排在最前面。UTRAN 可以根据蜂窝单元的负载情况和其他标准来决定 UE 是否切换到变量 TRIGGERED _ 2C _ EVENT 中的最佳频率上。

另外，存储在变量 TRIGGERED _ 2C _ EVENT 中的未使用频率可能不会一直存在，因为如果存储的未使用频率满足式（9-15）中的条件，那么该未使用频率就会从变量 TRIGGERED _ 2C _ EVENT 中删除。

$$Q_{\text{Non used}} < T_{\text{Non used 2C}} - H_{2C}/2 \tag{9-15}$$

4. 报告事件 2D

如果当前使用频率的质量评估值低于一定的门限值，就会触发报告事件 2D。UE 必须能执行该测量过程和相应的事件报告过程，而且无需进入压缩模式。

当事件 2D 的频间测量配置过程已经建立时，UE 将会增加与该测量过程相关的变量 TRIGGERED _ 2D _ EVENT，该变量最开始设置为“FAISE”，当测量过程被释放时，UE 就会删除该变量。

当事件 2D 在 UE 的测量过程中进行配置，而且触发时间说明使用过的频率已经满足式（9-16）一段时间时，如果变量 TRIGGERED _ 2D _ EVENT 没有

设置为“TRUE”，那么UE将其设置为“TRUE”，同时UE还会发送一个测量报告给UTRAN。

$$Q_{\text{Used}} \geqslant T_{\text{Used 2D}} - H_{2D}/2 \tag{9-16}$$

式中，$T_{\text{Used 2D}}$是指绝对门限值，该门限值应用在事件2D中使用过的频率的测量过程中；$H_{2D}/2$是指事件2D的滞后参数。

相反，如果变量TRIGGERED _ 2D _ EVENT已经设置为“TRUE”，而且使用过的频率满足式（9-17），那么UE会将变量TRIGGERED _ 2D _ EVENT设置为“FAISE”。

$$Q_{\text{Used}} > T_{\text{Used 2D}} + H_{2D}/2 \tag{9-17}$$

5. 报告事件2E

如果未使用频率的质量评估值低于一定的门限值，就会触发报告事件2E。当事件2E的频间测量配置过程已经建立时，UE将会增加与该测量过程相关的变量TRIGGERED _ 2E _ EVENT，该变量最开始为空。当测量过程被释放时，UE就会删除该变量。

当事件2E在UE的测量过程中进行配置时，如果触发时间说明一个或多个未使用频率已经满足式（9-18）一段时间，那么事件2E就会被触发。

$$Q_{\text{Non used}} \leqslant T_{\text{Non used 2C}} - H_{2E}/2 \tag{9-18}$$

式中，$T_{\text{Non used 2C}}$是指绝对门限值，该门限值应用在未使用频率的测量过程中；H_{2E}是指事件2E的滞后参数。

之后，UE会将触发事件2E的未使用频率存储到变量TRIGGERED _ 2E _ EVENT中，并发送一个测量报告给UTRAN。测量报告中包含了关于这些未使用频率的频率信息和测量结果，其中最佳频率的相关信息和测量结果排在最前面。

另外，存储在变量TRIGGERED _ 2E _ EVENT中的未使用频率可能不会一直存在。因为如果存储的未使用频率满足式（9-19）中的条件，那么该未使用频率就会从变量TRIGGERED _ 2E _ EVENT中删除。

$$Q_{\text{Non used}} > T_{\text{Non used 2E}} - H_{2E}/2 \tag{9-19}$$

6. 报告事件2F

如果当前使用频率的质量评估值高于一定的门限值，就会触发报告事件2F。UE必须能执行该测量过程和相应的事件报告过程，而且无需进入压缩模式。

当事件2F的频间测量配置过程已经建立时，UE将会增加与该测量过程相关的变量TRIGGERED _ 2F _ EVENT，该变量最开始设置为“FAISE”，当测量过程被释放时，UE就会删除该变量。

当事件2F在UE的测量过程中进行配置，而且触发时间说明使用过的频率已经满足式（9-20）一段时间时，如果变量TRIGGERED _ 2F _ EVENT没有设置为“TRUE”，那么UE将其设置为“TRUE”，同时UE还会发送一个测量报

告给 UTRAN。

$$Q_{\text{Used}} \geqslant T_{\text{Used 2F}} + H_{2\text{F}}/2 \tag{9-20}$$

式中，$T_{\text{Used 2F}}$是指绝对门限值，该门限值应用在事件 2F 中使用过的频率的测量过程中；$H_{2\text{F}}/2$ 是指事件 2F 的滞后参数。

相反，如果变量 TRIGGERED_2F_EVENT 已经设置为"TRUE"，而且使用过的频率满足式（9-21），那么 UE 会将变量 TRIGGERED_2F_EVENT 设置为"FAISE"。

$$Q_{\text{Used}} < T_{\text{Used 2F}} - H_{2\text{F}}/2 \tag{9-21}$$

9.5 RAT 间切换

RAT 间切换是指将 UE 和 UTRAN 之间的连接转换成与另一种无线接入技术（如 GSM）的连接，或者将 UE 与其他无线技术之间的连接转换成 UE 与 UTRAN 之间的连接。本节将主要介绍以下这种类型的 RAT 间切换，即将 UE 与 UTRAN 之间的连接转换到与另一种无线接入技术（GERAN）之间的连接。

在 RAT 间切换过程中，UTRAN 会在测量控制消息中发送一个信息单元，该消息中包含了关于 RAT 间测量过程的相关信息。这些信息中大多数都与频内测量过程中的信息相同，不同之处在于：

1）蜂窝单元信息列表中还包含了 GSM 指定的信息，如频率、频段指示和 BSIC。

2）测量参数定义了滤波器系数以及 UMTS 蜂窝单元和 GSM 蜂窝单元中 UE 应该测量的各种参数。

3）报告参数除了定义事件的强制性参数外，还定义了观察时差和 GSM 载体 RSSI。

4）RAT 间报告标准定义了报告事件 3A～3D 和相应的 RAT 间测量参数，如门限值、滞后值和触发时间值。

9.5.1 RAT 间切换触发事件

RAT 间触发事件定义如下：

1）事件 3A：该事件触发后，当前使用的 UTRAN 频率的评估质量低于一定的门限值，其他系统的评估质量值高于一定的门限值。

2）事件 3B：该事件触发后，其他系统的评估质量值低于一定的门限值。

3）事件 3C：该事件触发后，其他系统的评估质量值高于一定的门限值。

4）事件 3D：该事件触发后，其他系统中的最佳蜂窝单元会发生变化。

事件 3A 中当前服务 UTRAN 的频率质量评估与频间切换触发事件中使用的

评估值相同，如式（9-22）所示

$$
\begin{aligned}
Q_{UTRAN} &= 10\lg(M_{UTRAN}) \\
&= W\ 10\lg\left\{\sum_{i=1}^{N_A} M_i\right\} + (1-W)10\lg(M_{Best})
\end{aligned}
\tag{9-22}
$$

式中，Q_{UTRAN}是指在当前使用的UTRAN频率上的动态集的评估质量，单位为dB；M_{UTRAN}是指在当前使用的UTRAN频率上的动态集的十进制评估质量；M_i是指动态集中蜂窝单元i的测量结果，这个测量结果是以UTRAN质量评估测量参数IE中的指示为根据的；N_A是指动态集中蜂窝单元的数量；M_{Best}是指动态集中蜂窝单元的最佳测量结果；W是指从UTRAN发送到UE的一个参数。

事件3A的触发条件如式（9-23）和式（9-24）所示：

$$
Q_{Used} \leqslant T_{Used} - H_{3A}/2 \tag{9-23}
$$

$$
M_{Other\ RAT} + CIO_{Other\ RAT} \geqslant T_{Other\ RAT} + H_{3A}/2 \tag{9-24}
$$

式中，Q_{Used}是指当前服务UTRAN频率的质量测量结果；T_{Used}是指绝对门限值，该门限值应用于测量过程中的UTRAN系统；$M_{Other\ RAT}$是指其他系统中蜂窝单元的测量质量，如GSM中的RSSI；$CIO_{Other\ RAT}$是指绝对门限值，该门限值应用于测量过程中的其他系统；H_{3A}是指事件3A的滞后参数。

事件3B、3C和3D中也定义了与上面类似的触发条件，感兴趣的读者可以阅读参考文献[2]。

为了将UE切换到一个GSM蜂窝单元，首先必须对GSM蜂窝单元进行标识。GSM蜂窝单元是由它的ARFCN和基站识别码（BSIC）来标识的，GSM蜂窝单元在同步信道上广播它的BSIC。在RAT件测量和报告过程中，UE可能需要也可能不需要标识BSIC。

如果UE不需要标识BSIC，那么UE会给那些在RAT间蜂窝单元信息表中列出了ARFCN的GSM蜂窝单元发送一个RAT间测量报告，RAT间蜂窝单元信息表是由UTRAN发送的。UTRAN可以配置RAT间测量报告过程，该测量报告过程不需要进行BSIC标识。

如果UE需要标识BSIC，那么UE必须读取GSM蜂窝单元的同步信道，并在RAT间测量报告之前将ARFCN和BSIC与RAT间蜂窝单元信息表中列出的蜂窝单元进行匹配。在RAT间切换之前，UTRAN可以利用BSIC标识来确定目标GSM蜂窝单元的标识。

9.6　压缩模式

压缩模式在频间和RAT间测量过程占有很重要的作用，当UTRAN指导

UE进行频间或RAT间测量时，UE需要增加一个接收端或者在压缩模式中进行测量。在压缩模式下，UE可以在无服务UMTS频率或者其他RAT频率上进行测量，同时无需两个接收端。具体来说，在RAT间测量过程中，压缩模式可以用来执行GSM载体RSSI测量、初始BSIC识别和BSIC重新确认等功能。

当只有一个接收端的UE从UMTS覆盖区域移动到GSM区域时，必须使用压缩模式来进行RAT间测量。当UE移动到或移动出部署了多个UMTS频率的区域时，也可以使用压缩模式来进行RAT间测量。在压缩模式下，UE可以在另一个频率上进行测量，同时还不会丢失任何当前服务UMTS蜂窝单元中专用信道上的数据。

9.6.1　压缩模式要点

由于当UE只有一个接收端时压缩模式只能用于频间或RAT间测量，因此很自然就会想到下面的问题，即什么是压缩模式以及压缩模式是如何工作的。根据定义，压缩模式是一种传输模式，在该传输模式中，信息被压缩到时域中，从而在传输过程中生成各个时间间隔。换句话说，就是一个传输时间的压缩或缩减过程和传输间隔的生成过程，在该过程中，UE接收端可以交换到其他频率上进行测量。

传输间隔通常是以无线帧时隙为单位进行计算的。图9-6给出了一个压缩模式下传输的例子。在压缩模式帧中，瞬间功率会增加，以便保持传输质量不受缩减处理增益（扩频因子）的影响。功率增加的具体大小是由生成传输间隔的方法决定的。

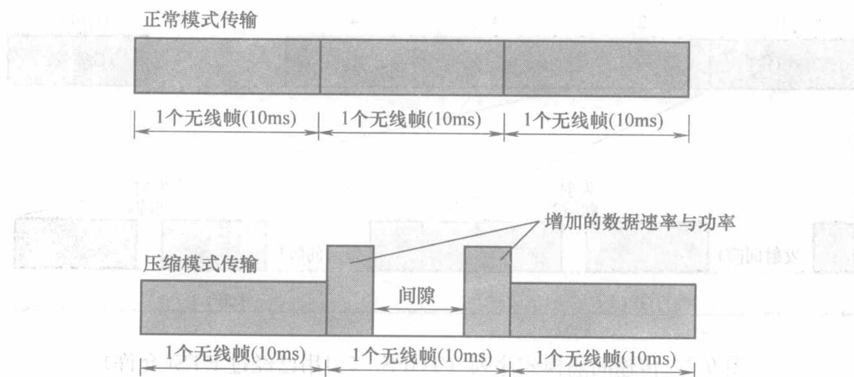


图9-6　压缩模式传输示意图

生成传输间隔的方法包括穿孔、扩频因子缩减和高层调度。在穿孔方法中，传输间隔是通过附加的穿孔或者比正常模式中更少的速率匹配重复次数来实现

的。为了生成传输间隔，必须有足够多的物理信道比特被穿孔。但是另一方面，过多的物理信道比特被穿孔又会造成信息出现丢失。因此，通常在生成较长的传输间隔时，不推荐使用穿孔方法。另外，穿孔过程只适用下行链路。

在扩频因子缩减方法中，压缩无线帧扩频因子的缩减因子为2，在每个较短的时间间隔中可以传输2bit。换句话说，压缩无线帧中的比特传输速率增加了，这样发送相同数量比特所需的时间就减少了，增加的时间间隔内可以不发送比特。这种方法通常用于当扩频因子大于4的情况下，既适用上行链路，也适用下行链路。

在高层调度（信令）方法中，上层可以通过限制允许传输格式合并的方法来虚拟地生成一个传输间隔。这种方法既适用上行链路，也适用下行链路，而且该方法主要适用于分组数据，因为在本质上该方法中的数据都是突发数据，但该方法不太适用于分组交换数据或语音数据。

9.6.2　传输间隔模式序列

如果UE在频间测量过程或RAT间测量过程中使用压缩模式，那么UTRAN必须提供传输间隔模式序列（Transmission Gap Pattern Sequence，TGPS）[3]。一个TGPS中包含了替换交替间隔模式1和传输间隔模式2[6]。在这两个模式中，每一种模式都包含一个或两个传输间隔，该传输间隔的长度以传输间隔模式长度（Transmission Gap Pattern Length，TGPL）为单位。TGPS通过惟一的传输间隔模式序列标识符（Transmission Gap Pattern Sequence Identifier，TGPSI）来标识，图9-7给出了一个TGPS的例子。

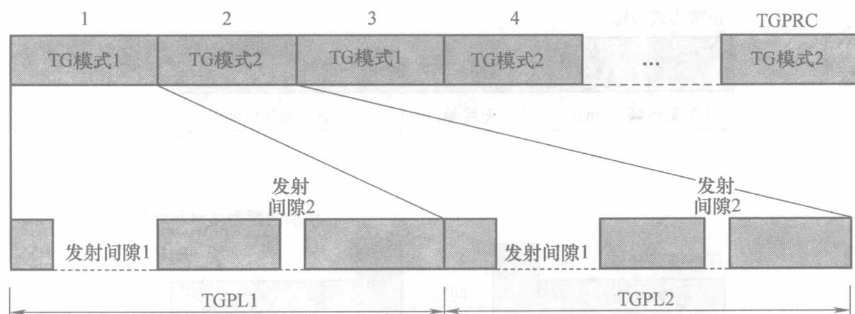


图9-7　传输间隔模式序列（TGPS）（引用已经过ETSI允许）

每个TGPS相关的压缩模式参数包括传输间隔连接帧编号（Transmission Gap Connection Frame Number，TGCFN）、传输间隔模式重复次数（Transmission Gap Pattern Repetition Count，TGPRC）、上行/下行选择、上行压缩方法、下行压缩方法、下行帧类型和扰码变化等，这些参数是由UTRAN根据测量目

的来确定的。

其中，TGCFN 是 TGPS 第 1 个传输间隔模式中的第 1 个无线帧 CFN；TG-PRC 是传输间隔模式序列中传输间隔模式的数量；上行/下行选择用来指定压缩模式是只用于上行链路，还是下行链路或者上行和下行链路都适用；上行压缩方法用来指定生成上行压缩模式间隔的方法；下行压缩方法用来指定生成下行压缩模式间隔的方法；下行帧类型用来指定在下行压缩模式帧中是必须使用帧结构类型 A 还是帧结构类型 B（将在 9.6.3 节中讨论）；扰码变化用来说明是否在下行压缩模式方法中使用交替扰码，在下行压缩模式方法中，扩频因子会缩减 2。

9.6.3 传输间隔模式

一个传输间隔模式中包含了交替传输模式 1 和交替传输间隔模式 2。图 9-8 给出了一对传输间隔模式 TGP 1 和 TGP 2 的示意图，图中的参数详细定义了传输间隔模式。

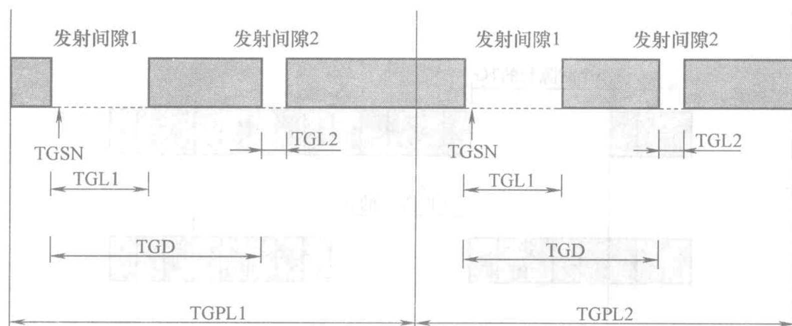


图 9-8 压缩模式参数示意图（引用已经过 ETSI 允许）

在图 9-8 中，传输间隔开始时隙编号（Transmission Gap starting Slot Number，TGSN）是指传输间隔模式第 1 个无线帧中的第 1 个传输间隔时隙的时隙编号；传输间隔长度 1（Transmission Gap Length 1，TGL1）是指传输间隔模式中第 1 个传输间隔的长度，其单位为时隙。类似地，传输间隔长度 2（Transmission Gap Length 2，TGL2）是指传输间隔模式中第 2 个传输间隔的长度，其单位为时隙。如果高层没有为 TGL2 设置数值，那么 TGL2 就等于 TGL1。传输间隔开始距离（Transmission Gap starting Distance，TGD）是指传输间隔模式中两个连续传输间隔之间的时间差，其单位为时隙。另外，如果高层没有为 TGD 设置数值，那么在传输间隔模式中就只有一个传输间隔。传输间隔模式长度 1（Transmission Gap Pattern Length 1，TGPL1）是指传输间隔模式 1 的长度，单位为无线帧。类似地，传输间隔模式长度 2（Transmission Gap Pattern Length 2，TGPL2）是指传输间隔模式 2 的长度，单位也为无线帧。如果高层没

有为 TGPL2 设置数值，那么 TGPL2 就等于 TGPL1。

1. 传输间隔

传输间隔的长度不能超过 14 个时隙，也就是说，传输间隔的最大长度为 9.33 ms。另外，每个无线帧中的最大传输间隔时隙数可能为 7。因此，如果传输间隔的长度超过 7 个时隙，那么该传输间隔将跨越两个连续的无线帧。从上面这些条件来看，一个传输间隔可以根据测量的目的来在任何地方生成。

传输间隔位置是按照下面的方法来计算的：假设 N_{first} 用来指定连续理想时隙的开始时隙，其中 $N_{first}=0，1，2，\cdots，14$。同时，假设 N_{last} 用来指定最后一个间隔的理想时隙。如果 TGL≤15，那么 $N_{last}=N_{first}+TGL-1$，这就是所谓的"单帧传输间隔"。如果 $N_{first}+TGL\geq15$，那么 $N_{last}=(N_{first}+TGL-1)\bmod 15$（在下一个无线帧中），这就是所谓的"双帧传输间隔"。在双帧传输间隔中，选取 N_{first} 和 TGL 时必须满足以下原则，即每个无线帧中至少有 8 个时隙不是理想时隙。图 9-9 给出了单帧传输间隔的例子，而图 9-10 则给出了双帧传输间隔的例子。

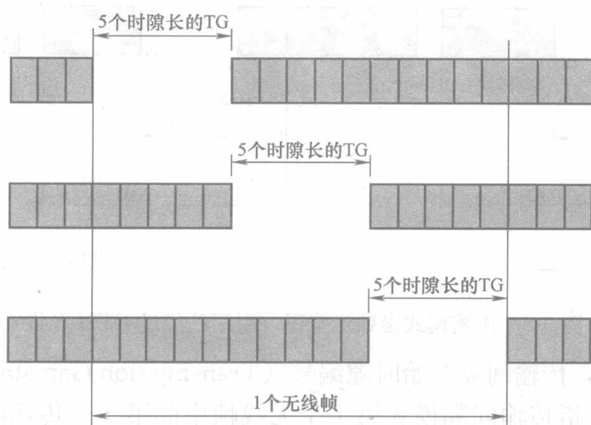


图 9-9　单帧传输间隔

2. 并行传输间隔模式序列

在传输过程中，有多个传输间隔模式序列并行的情况存在，因为每个测量类型都需要一个传输间隔模式序列。在这种情况下，UTRAN 必须确保压缩模式不会与相同的帧产生重叠或覆盖。如果压缩模式传输间隔超过了最大间隔长度，那么 UE 就会拒绝该消息，当作是一个无效配置。如果检测到了传输间隔出现重叠的情况，那么 UE 将利用最小传输间隔模式序列标识符（TGPSI）来选择模式，并放弃与其他模式相关的测量过程。

3. 下行压缩模式帧结构

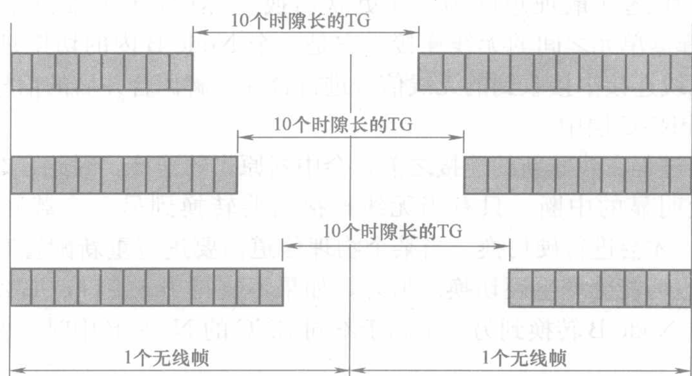


图 9-10 双帧传输间隔

在 9.6.2 节中提到过，下行帧类型参数指明了在下行压缩模式帧中必须使用帧结构类型 A 还是帧结构类型 B，高层必须对该参数进行设置。如果使用类型 A 帧结构，那么传输间隔中最后一个时隙的导频域必须发送；如果使用类型 B 帧结构，那么传输间隔中第 1 个时隙的 TPC 域和最后一个时隙的导频域都必须发送。类型 B 帧结构提高了功率控制性能，因为该结构在传输间隔中包含了部分 TPC 比特。如果在传输间隔中没有 TPC 比特，那么功率控制就不能在压缩模式中很好地发挥功能，因为缺少了 TPC 比特。

4. 交替下行扰码

下行 DPCH 信道通常利用扰码组中的主扰码或次扰码来发送，该扰码组与蜂窝单元的主扰码有关。如果压缩模式中扩频因子是以 2 的速率缩减，那么 SF/2 OVSF 码就可能正在被另一个用户使用。这种情况下，就可以使用交替扰码来对 DPCH 信道进行扰码操作。

每个主扰码和次扰码都具有一个左交替扰码和一个右交替扰码。扰码 c 对应的左交替扰码为 $c+8192$，对应的右交替扰码为 $c+16384$[7]。

高层将会通过信令为每个物理信道指明交替扰码的用处。假设 $C_{ch,SF,k}$ 是非压缩帧中使用的 OVSF 码，那么 $C_{ch,SF/2,k \bmod (SF/2)}$ 就是交替扰码。当 $k<SF/2$ 时，就使用左交替扰码；当 $k \geqslant SF/2$ 时，就使用右交替扰码。

9.7 小结

切换过程包括软切换、更软切换、硬切换和无线接入技术之间的切换。软切换过程在中断原先的连接之前，会建立一个新的连接。在软切换过程中，UE 可能与两个或多个 Node B 之间同时维持无线连接。RNC 层负责从这些无线连接中

接收到的帧中选择最理想的帧。在更软切换过程中，UE 维持了与属于相同 Node B 的蜂窝单元之间的无线连接，它是一个 Node B 内的切换过程。Node B 将从这些无线连接中接收到的无线信号进行合并，解调合并后的信号，并将相关信息发送到 RNC 层中。

硬切换过程在建立新的连接之前，会中断原先的连接。因此，在硬切换过程中，会产生明显的中断。只有当无线连接需要转换到另一个载频下或另一个 RAT 中时，才会进行硬切换。当某个物理信道需要进行重新配置时（如时隙结构改变），也可能会产生硬切换。另外，如果不支持 Iur 接口，那么当无线连接需要从一个 Node B 转换到另一个属于不同 RNC 的 Node B 中时，就需要进行硬切换。

UE 测量与报告过程是切换流程中的一部分，UTRAN 可以通过 SIB 类型 11 上广播的测量信息，或者通过发送一个测量控制消息来控制 UE 的测量和报告流程。为了完成切换，当 UE 处于呼叫建立过程中或 Cell_DCH 状态时，UE 必须进行测量。当 UE 处于呼叫建立过程中时，UE 可以使用 UTRAN 在 SIB 类型 11 上广播的相关测量与报告参数；当 UE 处于 Cell_DCH 状态时，UTRAN 可以通过发送一个测量控制消息给 UE 来要求 UE 建立、修改或释放测量过程，该消息会指导 UE 根据测量类型来执行测量过程，并说明应该在哪一个蜂窝单元上执行测量过程。测量控制消息同时还会说明 UE 如何以及何时发送测量报告消息给 UTRAN。在接收到 UE 的测量报告之后，UTRAN 将会为 UE 添加或删除无线连接。

UE 持续追踪的蜂窝单元可以划分成 3 种独立的类型：动态集、被监控集和被检测集。

动态集中的所有蜂窝单元都是 UE 的软切换或更软切换对象，从这些蜂窝单元接收到的信号会同时被 UE 解调和进行相干性合并。如果满足一定的报告标准，被监控集中的蜂窝单元也会由 UE 进行测量和报告。被监控集是相邻蜂窝单元列表的一个子集，由 UTRAN 负责更新。如果一个蜂窝单元既不属于动态集，也不属于被监控集，但是被 UE 检测到，那么该蜂窝单元就成为了被检测集中的一个蜂窝单元。

UMTS 标准为频内 FDD 测量过程定义了 6 种主要的报告事件，分别为事件 1A、1B、1C、1D、1E 和 1F。除了事件 1D 之外，其他所有的报告事件都与 UMTS 软切换/更软切换有关。事件 1A 和事件 1E 通常用来向 UTRAN 说明何时应该将一个新的蜂窝单元添加到动态集中；事件 1B 和 1F 通常用来向 UTRAN 说明何时应该将一个蜂窝单元从动态集中删除；事件 1C 通常用来向 UTRAN 说明动态集中的蜂窝单元何时应该被不同的蜂窝单元替换。

在频间切换过程中，UTRAN 会在测量控制消息中发送一个频间测量和报告

信息给 UE。之后，UE 会根据测量控制消息中的指示来响应。频间测量过程使用了虚拟动态集的概念，而没有使用真正的动态集。虚拟动态集是指那些未使用频率的最佳蜂窝单元集。虚拟动态集可以由 UE 或 UTRAN 进行自动更新。

频间切换流程包括 3 个步骤：第 1 步，UE 必须检测并报告有一个新的频率比当前使用的频率更合适，UTRAN 会根据蜂窝单元的负载情况和其他标准来决定是否将 UE 切换到新的频率下；第 2 步，标识新频率上的最佳蜂窝单元，也就是说 UE 必须在该新频率上进行蜂窝单元指定的测量，并将测量结果报告给 UTRAN；第 3 步即最后一步，UTRAN 指导 UE 转换到新的频率下。

频间报告事件包括报告事件 2A～2F。如果另一个频率的质量评估值好于当前使用频率的质量评估值，就会触发报告事件 2A；如果当前使用频率的质量评估值低于一定的门限值，而且未使用频率的质量评估值高于该门限值，就会触发报告事件 2B；如果未使用频率的质量评估值高于该门限值，就会触发报告事件 2C；如果当前使用频率的质量评估值低于一定的门限值，就会触发报告事件 2D；如果未使用频率的质量评估值低于该门限值，就会触发报告事件 2E；如果当前使用频率的质量评估值高于一定的门限值，就会触发报告事件 2F。

在 RAT 间切换过程中，UE 和 UTRAN 之间的连接会转换到另一个 RAT 中，如 GSM。在 RAT 间测量过程中，UTRAN 会在测量控制消息中给 UE 发送一个信息单元，该测量控制消息中包含了关于 RAT 间测量的相关信息。RAT 间切换触发事件包括 3A～3D。如果当前使用的 UTRAN 频率的质量评估值低于一定的门限值，而且其他系统频率的质量评估值高于该门限值，就会触发报告事件事件 3A；如果其他系统频率的质量评估值低于一定的门限值，就会触发报告事件事件 3B；如果其他系统频率的质量评估值高于一定的门限值，就会触发报告事件事件 3C；如果其他系统中的最佳蜂窝单元发生变化，就会触发事件 3D。

压缩模式可以用于频间测量过程和 RAT 间测量过程。当 UTRAN 指导 UE 执行频内测量或 RAT 间测量时，UE 需要增加一个接收端来执行测量过程。但是，在压缩模式下，UE 也可以在非服务 UMTS 频率上或其他 RAT 频率执行测量过程，同时不需要两个接收端。例如，在 RAT 间测量过程中，UE 可以执行 GSM 载体 RSSI 测量、初始 BSIC 识别和 BSIC 重新确认过程。另外，在压缩模式下，UE 可以在另一个频率上进行测量，同时不会丢失任何在当前服务 UMTS 蜂窝单元专用信道上的数据。

压缩模式是一种传输模式。在该传输模式中，信息被压缩到时域中，从而在传输过程中生成各个时间间隔。生成传输间隔的方法包括穿孔、扩频因子缩减和高层调度。如果 UE 在频间测量过程和 RAT 间测量过程中使用压缩模式，那么 UTRAN 必须提供一个传输间隔模式序列，传输间隔的长度不能超过 14 个时隙。另外，每个无线帧中的最大传输间隔时隙数可能为 7。因此，如果传输间隔的长

度超过7个时隙，那么该传输间隔将跨越两个连续的无线帧。

参考文献

[1] 3GPP TS 25.92，v5.2.0. Radio resource management strategies，Release 5.

[2] 3GPP TS 25.331，v5.7.1. Radio Resource Control（RRC）protocol specification，Release 5.

[3] 3GPP TS 25.133，v5.8.0. Requirements for support of radio resource management（FDD），Release 5.

[4] 3GPP TS 25.433，v5.6.0. UTRAN Iub Interface NBAP Signaling，Release 5.

[5] 3GPP TS 25.423，v3.14.2. UTRAN Iur Interface RNSAP Signaling，Release 5.

[6] 3GPP TS 25.215，v5.5.0. Physical layer---measurements（FDD），Release 5.

[7] 3GPP TS 25.213，v5.3.0. Spreading and modulation（FDD），Release 5.

第10章 功率控制

在强健的WCDMA系统中，可以通过功率控制来使UE和Node B的发射功率最小化，同时保持服务质量不发生变化。降低UE和Node B的发射功率可以提高系统容量，因为WCDMA系统允许存在一定程度的干扰。如果没有功率控制功能，就会使系统容量产生损失。功率控制功能中的基本问题就是远近效应问题。如果发射端靠近接收端，那么从发射端发送出来的信号就比那些远离接收端的发射端发射出来的信号更加容易接收。功率控制功能可以使发射端在合适的发射功率上执行发射过程，这样接收端接收到的信号功率就会与发射信号的功率基本相同。高效率的功率控制过程需要快速反馈功能，这样可以及时调整发射功率，从而减小干扰，并避免系统容量出现损失。

为了保持服务质量不发生变化，系统需要一定的误块率（BLER）和一定的信扰比（Signal to Interference Ratio，SIR）。无线信道条件较差的用户需要的SIR比信道条件较好的用户更高。功率控制功能就是用来确定合适SIR的，这样无论无线信道的条件如何，每个无线链路的服务质量都可以得到保证。确定合适SIR的机制称为外环功率控制，该机制同时适用上行和下行链路。外环功率控制功能的运行频率比内环功率控制功能的运行频率小很多，根据传输时间间隔（TTI），其最大允许频率约为100次/s。

功率控制功能既适用于公共信道，也适用于专用信道。功率控制包括开环功率控制和闭环功率控制。其中，开环功率控制功能用来设置信道的初始发射功率；闭环功率控制功能由两部分组成：外环功率控制和内环功率控制。其中，外环功率控制用来设置目标SIR，并将其发送到内环；而内环功率控制负责调整编码信道功率，以便测量后的SIR符合由外环功率控制提供的目标SIR。开环和闭环功率控制功能都适用于专用信道。但是，在公共信道中，没有闭环功率控制功能。公共信道的功率控制功能用来设置公共信道的功率等级。

外环功率控制功能在上行链路的RNC层中和下行链路的UE端自动运行。3GPP标准没有规定外环功率控制功能的具体执行过程，该工作流程由设备提供商指定。UE提供商可以在UE中规定自己的外环功率控制机制，而网络提供商则可以在其RNC中规定自己的外环功率控制机制。

内环功率控制功能是在UE和Node B之间执行的，该功能不涉及RNC层。在下行链路中，UE负责测量下行功率，计算SIR并将其与目标SIR进行比较，然后在上行DPCCH信道上发送TPC比特给Node B；Node B读取接收到的

TPC比特之后，将会相应地调整DCH信道的功率。在上行链路中，Node B负责测量上行功率，计算SIR并将其与目标SIR进行比较，然后在下行DPCH信道上发送TPC比特给UE。UE读取接收到的TPC比特之后，将会相应地调整其DCH信道的功率。

接下来将详细讨论下行专用信道、下行公共信道、上行专用信道和上行公共信道以及压缩模式下的功率控制功能。

10.1 下行专用信道的功率控制

下行专用信道的功率控制功能负责在呼叫建立过程中以及添加新的连接时，通过开环功率控制过程来设置初始功率。另外，下行专用信道的功率控制功能还负责通过闭环功率控制过程来调整专用信道的功率。

10.1.1 开环功率控制

开环功率控制功能通常用于以下两种情形中：呼叫建立过程中和一个新的无线链路添加到当前连接时。

在呼叫建立过程中，RNC会为没有连接的UE生成一个新的无线连接。下行发射功率是根据UE报告的测量结果和RNC参数共同来确定的。UE发送到RNC层的RRC连接请求消息中包含了UE的测量结果。RNC会提取出测量结果，并利用式（10-1）来计算初始下行发射功率：

$$\text{Initial_DL_Tx_Power} = \text{Min}\{P_{\text{Max}}, \text{Max}[P_{\text{Min}}, (\text{SIR_target-CPICH_}E_c/I_o + \text{DL_Power_Margin})]\} \quad (10\text{-}1)$$

式中，Initial_DL_Tx_Power是指初始下行发射功率，与P-CPICH信道功率有关，单位为dB；P_{Max}和P_{Min}分别是指有效无线承载配置的最高和最低允许下行发射功率，与P-CPICH信道功率有关，单位为dB；SIR_target是指有效无线承载配置的信扰比（SIR），单位为dB；CPICH_E_c/I_o由UE负责测量，并在RRC连接请求消息中进行报告，该值的单位利用参考文献［1］中定义的映射从报告值转换成了dB；DL_Power_Margin是一个连接预算变量，其值介于测量执行时间和无线连接建立时间之间，其单位也是dB。

当UE处于Cell_DCH状态时，至少有一个无线连接已经建立。但是，当UE进入软切换/更软切换过程中时，就会建立更多的无线连接。此时，我们关心的重点是，RNC何时将新的无线连接添加到当前的链路中去，以及新连接的Node B发射功率应该是多少？问题的答案就是RNC根据式（10-2）来计算初始功率：

$$\text{Initial_DL_Tx_Power} = P_{\text{Min}} + P_{\text{New_leg_offset}} \quad (10\text{-}2)$$

式中，P_{Min}是指最低允许的 Node B 发射功率，$P_{New_leg_offset}$是指偏差量。

无论是处于呼叫建立过程，还是添加一个新的无线连接，RNC 都会在呼叫建立过程中或无线连接添加流程中，通过 NBAP 信令来提供初始发射功率信息给 Node B。根据接收到的 NBAP 消息，当传输过程启动时，Node B 就会将初始功率等级应用到每个下行 DCH 信道上。在添加无线连接的过程中，如果无线连接添加请求消息中没有指定初始下行发射功率，那么 Node B 就会使用当前的功率等级。

10.1.2 闭环功率控制

闭环功率控制功能包括两个部分：外环功率控制和内环功率控制。其中，外环功率控制负责设置 SIR _ target；内环功率控制负责调整发射功率，以确保接收到的 SIR 与 SIR _ target 相匹配。

1. 下行专用信道外环功率控制

下行专用信道外环功率控制在 UE 中自动运行，UE 负责更新 SIR _ target，以提供需要的 BLER 性能来满足服务质量（QoS）要求。由于传输块的最小 TTI 是 10 ms，因此外环功率控制的最大频率为 100 Hz 或 100 次/s。

接下来，我们将介绍下行专用信道外环功率控制的基本原理。

RNC 利用 RRC 信令在下行专用控制信道（DCCH）上发送一个目标 BLER 值给 UE，DCCH 信道首先映射到一个下行专用信道（DCH）上，然后再映射到一个下行专用物理信道（DPDCH）上。从该目标 BLER 值中，UE 提取出初始 SIR _ target 值。UE 负责持续监控（测量）各个临时的 BLER 值，并相应地改变 SIR _ target 值，从而确保在任何无线信道环境下都可以达到所需的服务质量（这是一个关于频率和射频信道条件的功能）。3GPP 规范没有规定从 BLER 中提取 SIR _ target 值的具体算法以及算法的运行频率。各个 UE 制造商都拥有各自的提取算法。例如，在一种算法中，UE 可以监控每一个帧并为其设置 SIR _ target 值，而在另一种算法中，UE 可以在 5 个帧中监控 BLER 值，然后再设置 SIR _ target 值。前一种算法的运行频率为 100 次/s，而后一种算法的运行频率为 20 次/s。但是，3GPP 规范在指定的射频条件中指明了 UE 的最低性能[3]。

如果外环功率控制没有正常运行（SIR _ target 值没有根据下行 DCH 信道上测量的 BLER 值进行更新），将会出现如下现象：

1）UE 可能会请求比实际正常射频条件下所需功率更高的下行 DCH 功率。

2）SIR _ target 值可能不会增加以维持较差射频条件下的目标 BLER，这样即使下行 DCH 功率有效，下行 BLER 仍然会快速上升。

3）无论测量的 BLER 值是多少，UE 可能都会请求比实际正常射频条件下所需功率更高的下行功率，这样将会造成更高的下行 DCH 功率消耗，从而导致

下行容量出现损耗。

2. 下行专用信道内环功率控制

内环功率控制的目的是为了改变Node B的发射功率，从而达到DCH信道的目标SIR。由于内环功率控制的运行频率可以达到1500次/s，因此内环功率控制过程只涉及UE和Node B。内环功率控制流程包括以下4个步骤：

1）首先，Node B在DCH信道上将用户数据发送给UE；

2）然后，UE执行SIR评估，并将评估值SIR_{est}与SIR _ target进行比较；

3）接着，根据比较的结果，UE利用专用上行功率控制信道（DPCCH信道中的TPC）发送发射功率控制命令给Node B；

4）根据TPC信道中的信息，Node B决定是提高还是降低发射功率，但Node B发射功率必须保持在P_{Min}～P_{Max}范围之内。

（1）SIR评估与TPC命令生成　UE负责对每个无线帧时隙进行SIR评估，并获取评估值SIR_{est}。SIR_{est}是指下行DPCCH信道中的导频比特功率与噪声功率的比值，其测量方法在3GPP规范并没有具体规定，主要由各个UE制造商提供。但是，参考文献［1］中定义了部分性能要求。

根据SIR_{est}，UE可以按照下面的规则生成TPC命令：如果$SIR_{est} \geqslant$ SIR _ target，那么TPC命令就是0，这时就要求B节点降低发射功率；如果$SIR_{est} <$ SIR _ target，那么TPC命令就是1，这时就要求B节点提高发射功率。

TPC命令是由一个TPC比特来表示的，B节点以什么样的频率将TPC命令应用到下行信道是由下行内环时间指定的，而功率控制过程应该以多快的频率运行是由使用的功率控制模式决定的。接下来将讨论关于TPC比特样式、下行内环时间和下行内环功率控制模式等内容。

1）TPC比特样式。参考文献［4］中指出，根据时隙格式，上行DPCCH信道的TPC域中可以包含1bit或2bit。参考文献［4］也给出了时隙格式的定义。时隙格式包括6种类型，分别为时隙格式0～5。从时隙格式0～4，上行DPCCH信道的TPC域中都包含了2bit。在时隙格式5中，TPC域中只包含了1bit。如果上行DPCCH信道的TPC域中只有1bit，那么TPC命令1就由TPC比特样式1表示，TPC命令0就由TPC比特样式0表示；如果上行DPCCH信道的TPC域中包含2bit，那么TPC命令1就由TPC比特样式11表示，TPC命令0就由TPC比特样式00表示。时隙格式信息可以从无线连接建立请求消息和无线连接建立重新配置（NBAP）消息中的上行DPCCH信道时隙格式IE中读取出来。通常，只有时隙格式0可以使用，因此TPC比特样式始终就是11或00。

2）下行内环时间。当Node B从UE接收到TPC命令之后，Node B必须在下行信道上使用该命令。尽管3GPP规范中没有具体规定TPC命令的使用时间，

但是参考文献［5］中提供了相关的指导信息。基本上，Node B制造商可以决定DPCH输出功率的更新时间。通常建议，下行内环功率控制应该在下一个有效下行导频域开始处更新下行DPCH功率。根据Node B和UE之间的传输延迟，更新起点处的导频域可能属于一个时隙，该时隙的位置比UE中计算SIR_{est}的时隙落后一点。

3）下行内环功率控制模式。根据参考文献［5］，有2种有效下行内环功率模式：单TPC（DPC_Mode=0）和三态TPC（DPC_Mode=1）。其中，在单TPC模式中，UE在每个时隙中发送一个惟一的TPC命令，而且TPC命令是在上行DPCCH信道的第一个有效TPC域中发送。在该模式中，功率控制频率为1500次/秒。在三态TPC模式中，UE会在3个时隙中重复相同的TPC命令，而且在一个无线帧中包含了5个三态TPC命令，TPC命令就是以这样的方式来发送的，这样三态模式的起点就分布在帧的边界处；换句话说，在三态TPC模式中，功率控制频率就降低为500次/秒。UE中的功率控制模式是通过无线承载重新配置消息和无线承载建立消息来配置的。关于下行内环功率控制的具体内容，感兴趣的读者可以阅读参考文献［6］。

（2）下行限制发射功率增加　当RLC模式被设置成确认模式（AM）时，就可以通过限制内环功率控制调整的次数来实现容量增益，从而达到峰值功率。限制功率增加的目的是为了在非实时数据中更有效地使用内环下行功率控制。限制发射功率增加可能会导致发射过程产生误差，但是该误差可以由RLC重传过程来弥补。

UTRAN的Iub接口NBAP信令负责决定是否使用限制功率增加的功能[2]。如果接收到的下行DPCH信息IE中包含了限制功率增加IE，而且该IE被设置为“使用”，则Node B将会在新的配置中为内环下行功率控制过程激活限制功率增加功能。在更软切换过程中，所有与UE有关的更软切换过程都会被激活。

如果接收到的下行DPCH信息IE中包含了限制功率增加IE，而且该IE被设置为“不使用”，那么Node B将不会在新的配置中为内环下行功率控制过程使用限制功率增加功能。取而代之的是，Node B将会为相关的无线连接解除限制功率增加功能（如果该功能已经激活）。在更软切换过程中，所有与UE有关的更软切换过程都会被放弃。

下行限制功率增加功能可以在每一个蜂窝单元上执行。负责控制下行发射功率增加限制条件的参数为Power_Raise_Limit（功率上升限制）和DL_power_averaging_window_size（下行功率平均窗口大小）。其中，参数Power_Raise_Limit的范围为0～10 dB，步长为1 dB；DL_power_averaging_window_size表示了内环功率调整的幅度，其变化范围为1～60 dB，步长为1 dB。

上面这两个参数都包含在蜂窝单元呼叫请求消息中，B节点在蜂窝单元呼叫

建立流程中存储了它们的具体数值。通常，每次在蜂窝单元支持的无线连接中接收到激活下行限制功率增加功能的请求时，就会使用这两个参数。

（3）下行内环功率控制算法 下行内环功率控制算法位于Node B中，通常用来根据Node B接收到的TPC命令更新发射功率。在读取到第k个TPC命令后，Node B就会根据式（10-5）来调整当前下行功率$P(k-1)$：

$$P(k)=P(k-1)+P_{TPC}(k)+P_{bal}(k) \tag{10-3}$$

式中，$P_{TPC}(k)$是指根据内环功率控制功能进行的第k次功率调整；$P_{bal}(k)$是指根据下行功率控制流程进行的修正量，其单位为dB，该下行功率控制流程根据软切换/更软切换场景中常用参考功率来平衡无线连接功率。

如果Node B接收到的第k个TPC命令$TPC_{est}(k)$为0，那么无论限制功率增加功能是否使用，$P_{TPC}(k)$都设置为功率调整步长$-\Delta_{TPC}$。当不使用限制功率增加功能时，如果Node B接收到的$TPC_{est}(k)$为1，那么$P_{TPC}(k)$就设置为$+\Delta_{TPC}$；当使用限制功率增加功能，而且Node B接收到的$TPC_{est}(k)$为1时，如果在最后一次DL_power_averaging_window_size（下行功率平均窗口大小）内环功率调整过程中的累积功率调整量小于Power_Raise_Limit（功率上升限制），那么$P_{TPC}(k)$就设置为$+\Delta_{TPC}$；否则，$P_{TPC}(k)$就设置为0。

（4）下行内环发射功率步长 RNC是通过一个NBAP基元来设置功率步长大小的。TPC下行步长大小IE中包含的数值只能在无线连接建立请求基元中提取。在接收到一个TPC下行步长大小IE时，B节点将会存储该IE，并且当IE有效时使用新的步长。

如果在无线连接建立过程没有提取到TPC下行步长大小IE，那么B节点将使用默认的步长。

3GPP规范［5］中要求，UTRAN必须支持1 dB的TPC命令调整步长Δ_{TPC}，可选择支持0.5 dB的Δ_{TPC}。规范中还要求，Node B发射端必须具有1 dB的内环代码域功率设置功能，可选择支持0.5 dB的内环代码域功率设置功能。

内环功率控制步长的精确度必须符合参考文献［7］中3GPP规范的要求。根据内环功率控制功能，功率控制步长必须在表10-1给出的范围之内，而且总计输出功率变化量必须在表10-2给出的范围之内。

表10-1 发射功率控制步长范围（引用已经过ETSI允许）

下行链路中的功率控制命令	发射功率控制步长范围			
	1 dB步长		0.5 dB步长	
	下层	上层	下层	上层
上行（TPC命令1）	+0.5 dB	+1.5 dB	+0.25 dB	+0.75 dB
下行（TPC命令0）	−0.5 dB	−1.5 dB	−0.25 dB	−0.75 dB

表 10-2　发射总输出功率控制步长范围（引用已经过 ETSI 允许）

下行链路中的功率控制命令	10 次连续相同的命令之后的发射总输出功率变化量（上行或下行）			
	1 dB 步长		0.5 dB 步长	
	下层	上层	下层	上层
上行（TPC 命令 1）	+8 dB	+12 dB	+4 dB	+6 dB
下行（TPC 命令 0）	−8 dB	−12 dB	−4 dB	−6 dB

当 B 节点通过无线连接建立请求消息或无线连接添加请求消息接收到这些功率限制时，其发射功率将不会低于 P_{Min}，也不会高于 P_{Max}。请注意，这一点只适用于数据部分（即 DPDCH 符号）的平均功率，该符号是一个未扩展的复值 QPSK 符号，具体细节读者可阅读参考文献［2］。

如果更软切换过程中有两个或多个扇区，那么各个更软切换扇区中每个扇区允许的功率动态范围［P_{Min}，P_{Max}］都是单独定义的。

为了避免在一组更软切换无线连接中出现下行连接失衡，RNC 要求任何添加的无线连接的初始下行功率等级必须与现有连接的功率相同。

在建立新的无线连接过程中，RNC 必须在 NBAP 信令的无线连接建立请求消息中设立最大下行功率 IE 和最小下行功率 IE。如果无线连接建立请求消息中包含了最大下行功率 IE，那么该 UE 中存储的当前无线连接最大下行功率值就必须使用。类似地，如果无线连接建立请求消息中包含了最小下行功率 IE，也可以通过相同的流程来确定最小下行功率值。

（5）下行发射功率动态范围　在软切换过程中，UE 会向所有涉及到的 Node B 发送相同的下行信号。每个发送到 Node B 的信号都可能经历不同的无线环境。TPC 命令检测错误率在最差的连接环境会变得最高。如果每个动态集中的 Node B 都保持在一定的功率上进行发射（该功率根据 TPC 比特计算而来），那么根据不同的 TPC 错误率，各个 Node B 的发射功率也会各不相同。例如，当产生一个 TPC 错误时，原先一个连接中标识为“增加功率”的 TPC 命令就会被误认为是其他连接中的“降低功率”标识，这样将会造成下行 DCH 信道功率等级被功率调整步长分解两次。发射功率偏差会导致连接中发射功率产生随机“走步（Walk）”效应，而下行发射功率会达到比一个所需功率高很多的功率值，这种现象就称为功率失衡。

（6）下行发射功率失衡　当一个发射连接的最大发射功率低于其他连接时，也可能出现功率失衡现象。在这种情况下，增加功率的 TPC 命令就可能会被忽略，而降低功率的 TPC 就会导致功率降低。如果在一个连接中产生了过多的功率失衡，该现象就可能会“感染”相邻的其他无线连接。功率失衡可以通过功率平衡流程来进行修正，该流程由 Node B 制造商指定。

通常，从RNC的角度来看，可以通过将RNC MIB中的失衡修正参数设置成“激活”或“不活动”，以便在当前服务RNC中激活或解除指定UE的功率失衡修正流程。每个下行无线接入承载合并对应一个失衡修正MIB参数。指定UE的失衡修正流程可以在呼叫建立过程中激活，也可以根据复用在物理信道上的无线承载业务的修订数量来激活。

如果一个无线连接中的功率平衡流程被激活，那么功率平衡调整就会添加到内环功率控制调整流程上，其数学表达式如式（10-4）所示：

$$P_{bal}=(1-r)(P_{ref}+P_{P\text{-}CPICH}-P_{init}) \tag{10-4}$$

式中，P_{ref}是指下行参考功率IE的值；$P_{P\text{-}CPICH}$是指主CPICH信道上使用的功率；P_{init}是指前一个调整阶段中最后一个时隙中的代码功率；r是指由缩放调整比例IE指定的缩放调整比例。

（7）下行DPCCH信道与DPDCH信道之间的发射功率偏差　下行发射功率控制流程同时控制着DPCCH信道及其相关DPDCH信道的功率。不同信道的功率进行调整时必须满足以下原则：DPCCH信道和DPDCH信道之间的相对功率差不会发生变化。S-RNC负责通过读取OA&M管理表中的数值来设置DPCCH域和DPDCH域之间的相对发射功率偏差。如图10-1所示，TFCI、TPC以及DPCCH导频域与DPDCH功率之间的偏差分别由PO1、PO2和PO3表示。

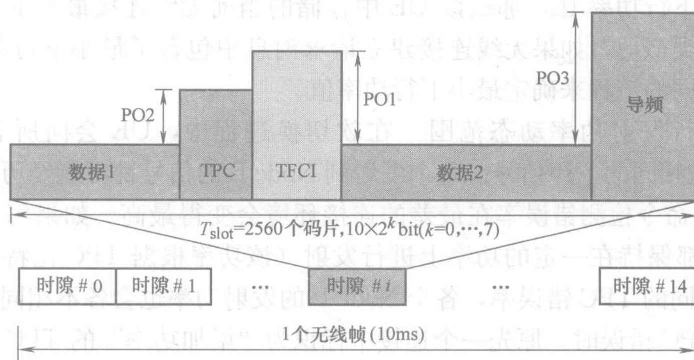


图10-1　下行DPCH信道中的功率偏差

值得注意的是，PO1和PO3只能在无线连接建立过程中被发送到Node B，换句话说，一旦无线连接建立起来之后，PO1和PO3就不能修改。PO2只能通过DCH成帧协议（Framing Protocol，FP）来修改，具体过程在参考文献［8］中给出了定义。根据RNC发送给下行DCH信道的BLER _ target，UE可以通过外环功率控制流程推算出DPDCH信道（不包括导频域）的SIR _ target。为了计算导频域的SIR _ target，UE必须添加导频域和数据域之间的功率偏差，该过程可以通过FACH信道上的RRC信令来实现，详细内容在参考文献［6］

中给出了描述。

使用更大的PO1值时，可以通过减小TFCI译码错误率来提高BLER性能。由于每个无线帧中只有一个TFCI需要译码，因此TFCI译码出现错误的可能性就相对很小。

提高PO3可以帮助UE实现同步，并且可以将UE接收端的性能提高到指定SIR点之上，从而实现下行容量增益。

当PO2值随着与UE之间的无线连接数量增加而增加时，无线连接质量就可以被提高。因此，不同的动态集大小应该定义不同的PO2值，而且这些PO2值应该在呼叫建立过程中和每次添加新业务时，或者当下行连接中的旧业务被删除时使用，该过程是通过使用无线接口参数更新消息的DCH FP信令来实现的，其中无线接口参数更新消息在参考文献［8］中给出了描述。

(8) 下行内环功率控制的钝化　通过使用NBAP/RNSAP下行功率控制请求消息中的内环功率控制IE，Node B就可以为一组属于相同Node B通信流程的无线连接解除下行内环功率控制流程。但是，Node B不能只解除某一个无线连接的下行内环功率控制流程，而同时还保持相同Node B中的其他无线连接仍然处于下行内环功率控制流程中。如果内环功率控制流程被解除，那么新的功率$P(k)$仍然可以通过式（10-3）来计算，其中不包括$P_{\mathrm{TPC}}(k)$部分。

10.2 下行公共信道的功率控制

下行公共信道的功率控制流程主要负责设置下行公共物理信道。下行公共控制物理信道包括：公共导频信道（CPICH）（其中两个子信道分别为主CPICH（P-CPICH）和次CPICH（S-CPICH））、主公共控制物理信道（PCCPCH）、次公共控制物理信道（SCCPCH）、同步信道（SCH）（其中两个子信道分别为主SCH（P-SCH）和次SCH（S-SCH））、寻呼指示信道（PICH）和捕获指示信道（AICH）。

所有下行公共信道的发射功率都由RNC控制，这些信道都没有控制环。因此，这些信道的发射功率一直保持不变，除非相关的RNC参数被修改或者需要不同的发射功率。

P-CPICH信道的功率等级是以dBm来表示的。相对于P-CPICH信道，其他下行公共物理信道的功率等级则是以dB来表示的。因此，当P-CPICH信道的功率等级发生变化时，其他下行公共物理信道的功率等级也会相应地发生变化。

这些下行公共物理信道的发射功率配置和重新配置都是由RNC来执行的，RNC通过发送一个蜂窝单元连接建立请求NBAP消息给各个Node B来设置

P-SCH信道、S-SCH信道、S-CPICH信道和PCCPCH信道的功率。对于PICH信道和AICH信道来说，其发射功率等级是通过一个公共传输信道建立请求消息来设置的。

接下来将详细介绍各个下行公共物理信道的功率设置过程。

10.2.1　公共导频信道和同步信道的功率等级

P-CPICH信道是不间断发射的，其发射功率等级既可以定义为Node B发射放大器总输出功率的比例（百分比），也可以定义为绝对功率值，单位为dBm。P-CPICH信道功率设置对于射频覆盖和一些基本流程（如软切换/更软切换）非常重要。一方面，P-CPICH信道功率等级应该设置得足够高，以便提升下行容量；另一方面，P-CPICH信道功率等级又必须是Node B总发射功率的10%。例如，如果B节点的输出功率为43 dBm（20 W），那么P-CPICH信道的功率等级就是43 dBm（或33 dBm）的10%。

P-SCH信道和S-SCH信道都是与PCCPCH信道在时间上复用的信道，并且具有10%的填充系数，也就是1/5 ms。由于指定的功率设置与信道上码片功率等级有关，因此必须利用填充系数来进行复用，从而得到这些信道的真实开销功率。P-SCH信道和S-SCH信道功率等级设置必须确保同步流程中的不同阶段具有不同的高成功率，从而保护系统容量。通常，相对于P-CPICH信道功率等级，P-SCH信道和S-SCH信道的功率等级分别设置为−3 dB和−5 dB。例如，如果B节点的输出功率为43 dBm，那么P-SCH信道和S-SCH信道的真实开销功率分别为20 dBm（100 mW）和18 dBm（63 mW）。

10.2.2　主公共信道控制物理信道的功率等级

PCCPCH信道是一个下行物理信道，通常用来承载BCH传输信道。

PCCPCH信道在每个时隙中的前256个码片中不发送数据，因此PCCPCH信道的填充系数等于90%。PCCPCH信道的功率等级也可以根据P-CPICH信道来定义。PCCPCH信道功率等级设置必须确保UE端在对SIB和MIB消息进行译码时具有很高的成功率，同时还可以保护系统的容量，该系统容量是以专用信道的下行功率有效性来衡量的。通常，相对于P-CPICH信道，PCCPCH信道的功率等级也可以设置为−3 dB。如果将填充系数90%计算在内，那么Node B的PCCPCH信道的真实开销功率就是0.9 W，输出功率为20 W。

10.2.3　次公共信道控制物理信道的功率等级

SCCPCH信道负责承载FACH信道和PCH信道，FACH信道和PCH信道也是在时间上复用的信道。SCCPCH信道在其时隙格式中可以支持3种不同的

子域：TFCI 域、数据域和导频域，SCCPCH 信道包含 18 种不同的时隙格式。因此，UE 必须强制支持使用 TFCI；同时，可选择使用导频域。当 FACH 信道被激活时，非激活 PCH 信道上的 DTX 就会被使能，反之亦然。但是，由于 SC-CPCH 信道中的 FACH 信道和 PCH 信道是在时间上复用的信道，因此如果这两个信道中至少有一个信道被激活，就无法实现功率节省了，因为每个时隙中数据部分的功率必须是相同的。

如果 TFCI 比特被发送，那么这些比特就会不间断地进行发送，但是 TFCI 域的填充系数就比数据域的填充系数低很多了。如图 10-2 所示，SCCPCH 信道中 TFIC 域和导频域的功率等级可以定义为分别相对 PO1 和 PO2 在数据域中使用的功率的偏差。如果增加 PO1 值，就可以通过减小 TFCI 译码错误率来提高 FACH/PCH BLER 性能；而如果增加 PO2 值，就可以帮助 UE 实现同步，从而提高 SCCPCH 信道帧的接收效率。

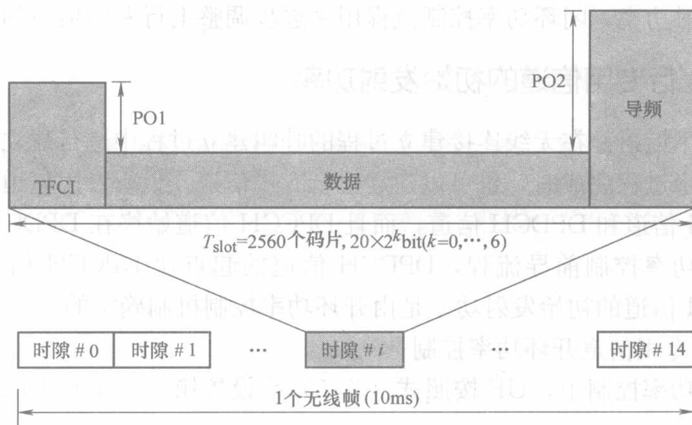


图 10-2 SCCPCH 信道中的功率偏差

FACH 信道的功率设置必须确保 FACH 信道上发送的 RRC 连接建立消息具有很高的译码成功率。经验表明，相对于 P-CPICH 信道，FACH 信道和 PCH 信道的功率等级应该设置为 4 dB。

10.2.4 寻呼指示信道和捕获指示信道的功率等级

寻呼指示信道（PICH）是一个固定速率的物理信道，负责承载各种寻呼指示。在第 7 章中我们提到过，一个 10 ms 的无线帧是由 300bit 组成的；但是，只有前 288bit 是用来承载寻呼指示的，剩下的 12bit 是预留的（DTX）。因此，PICH 信道的填充系数就是 96%。通常，相对于 P-CPICH 信道，PICH 信道的功率等级设置为−6 dB。

捕获指示信道（AICH）也是一个固定速率的物理信道，负责承载各种捕获

指示（AI）。一个AICH信道帧是由一组包含15个连续接入时隙（AS）的重复序列组成的，每个接入时隙的长度为5120个码片。其中，只有前4096个码片（即真正的捕获指示部分）是用来承载AI的，而剩下的1024个码片（形式上不是AICH的组成部分）是预留的（DTX）。捕获指示部分是由32个实值符号组成的。只有当RACH前导需要被确认时，才会发送AICH信道。因此，AICH信道的填充系数就只有1%。相对于P-CPICH信道，AICH信道的功率等级通常设置为−5 dB。

10.3 上行专用信道的功率控制

类似于下行专用信道的功率控制流程，上行专用信道的功率控制流程中也包括开环功率控制和闭环功率控制。其中，开环功率控制流程用来设置上行专用信道的初始发射功率，闭环功率控制流程用来逐步调整上行专用信道的发射功率。

10.3.1 上行专用信道的初始发射功率

上行专用信道是在无线连接建立过程的呼叫建立过程中进行建立的。当下行专用信道同步过程完成时，也可以建立上行专用信道。上行专用信道包括两种类型：DPCCH信道和DPDCH信道，而且DPCCH信道始终在DPDCH信道之前发送。根据功率控制前导流程，DPDCH信道的起点比DPCCH信道的起点落后。DPCCH信道的初始发射功率是由开环功率控制机制确定的。

1. 上行专用信道开环功率控制

在开环功率控制中，UE按照式（10-5）来设置第一个上行DPCCH信道的功率等级：

$$\text{DPCCH_Initial_power} = \text{DPCCH_Power_offset} - \text{CPICH_RSCP} \tag{10-5}$$

式中，DPCCH _ Power _ offset是一个参数，单位为dB；CPICH _ RSCP由UE进行测量。一旦新的无线连接完成同步流程，内环功率控制流程就会起动。

2. 上行DPCCH信道功率控制前导

上行DPCCH信道功率控制前导（Power Control Preamble，PCP）是上行DPDCH信道传输之前上行DPCCH传输的一个阶段，通常用来确保内环功率控制在实际数据传输启动之前已经完成。下行DPCCH信道必须在上行DPCCH功率控制前导过程中发送。

上行DPCCH功率控制前导的长度是一个由UE指定的高层参数，由RNC发送，其变化范围为0～7个无线帧。如果功率控制前导的长度大于零，那么功

率控制前导过程中使用的功率控制流程，就与功率控制前导过程之后使用的常用功率控制流程不同。

在上行 DPCCH 信道功率控制前导过程中，上行 DPCCH 信道发射功率的变化如式（10-6）所示：

$$\Delta_{DPCCH} = \Delta_{TPC} \times TPC_cmd \qquad (10\text{-}6)$$

式中，参数 TPC_cmd 是根据算法 1 得来的，该算法将在 10.3.3 节中介绍。在上行 DPCCH 信道功率控制前导过程之后，将使用常用的功率控制流程，该流程中的功率控制算法（Power Control Algorithm，PCA）是由 PCA 值和步长 Δ_{TPC} 共同决定的。UE 中的 DPCCH 信道功率控制前导模式是由 RNC 通过 RRC 信令（参考文献［6］中有描述）来进行配置的。

10.3.2 上行专用信道的外环功率控制

上行外环功率控制流程负责更新 Node B 中的 SIR_{target}，从而提高 BLER 性能，以满足服务质量要求。RNC 中的功率控制环运行频率为 100 次/s，并利用各种参数来更新 SIR_{target}。这些参数包括从 Node B 接收到的数据质量评估值、软切换链路的数量、上行信道中的干扰或负载等级以及 UE 发送过来的测量报告。更新之后，新的 SIR_{target} 会通过 Iub/Iur 接口发送到 Node B 中。SIR_{target} 通常被内环功率控制流程作为一个与 SIR_{est} 相对的参考值。

在 RNC 间软切换过程中，当前服务的 RNC 负责执行上行外部功率控制流程，并为所有连接中涉及到的 Node B 确定 SIR_{target}。

3GPP 规范中并没有指定如何计算 SIR_{target} 的值，以提供所需的 BLER，SIR_{target} 的值是根据各个网络设备提供商自己定义的外环功率控制机制来确定的。通常，外环功率控制机制包含了以下任务：

1）呼叫过程中涉及到的每个 Node B 都会对上行 DCH 信道的无线链路质量进行评估，并利用 DCH 成帧协议（上行方向）将评估结果发送到当前服务的 RNC 中。

2）当前服务 RNC 中的帧选择单元负责根据 Node B 发送过来的无线链路质量评估值来为外环功率控制算法提供惟一的质量评估值。

3）外环功率控制算法负责通过质量评估值和其他参数来调整 SIR_{target}。

4）当前服务 RNC 负责通过 DCH 成帧协议（下行方向）将新的 SIR_{target} 发送到各个涉及到的 Node B。

根据接收到的新的 SIR_{target} 值，Node B 将其应用到相关的上行内环功率控制功能中，同时执行外环功率控制功能。

1. 无线链路质量评估

上行链路的无线链路质量评估是在 Node B 中执行的。3GPP 规范［9］中描

述的一系列计量单位可以用来说明无线链路的质量，最常用的计量单位是BLER和BER。

BLER是指一个传输信道上的评估的平均传输块错误率，该传输信道的每个传输块中都包含了一个CRC位。各个Node B通过Iub接口（或在软切换中使用Iub加Iur接口），并利用DCH信道帧中的循环冗余校验指示（Cyclic Redundancy Check Indicator，CRCI）域来将CRC校验结果提供给当前服务的RNC。数据帧中包含的每个传输块都对应一个CRCI位。如果CRC校验失败，CRCI位就会设置为1；如果CRC校验通过或者不存在CRC校验，那么CRCI位就会设置为0。当前服务的RNC负责在帧选择之后通过取CRCI的平均值来评估BLER。

对于具有很高质量要求的传输信道来说，BLER就可能不是评估信道质量的最佳计量单位了。在这种情况下，传输信道误码率（Bit Error Rate，BER）和物理信道RNC就成为了更合适的选择。这两个计量单位在Node B中计算，并发送到当前服务的RNC中。

传输信道BER是指DPDCH信道在译码之前的比特错误率。由于BER是指译码之前的比特错误率，因此BER实际上是指符号错误率（Symbol Error Rate，SER），不过在3GPP规范中使用的是“传输信道BER”一词。指定专用信道的SER是按照以下步骤得到的：

1）对接收到的符号进行译码并重新编码；

2）对接收到的符号与重新编码后的符号进行比较；

3）计算步骤2中不匹配的符号的数量；

4）根据不匹配符号的数量计算传输信道BER。

类似地，物理信道BER是指DPCCH信道译码之前的比特错误率，因此，物理信道BER实际上也是指符号错误率。DPCCH信道上的SER可以通过对TPC和TFCI信息进行译码和重新编码来计算。关于传输信道BER和物理信道BER更具体的内容，感兴趣的读者可以阅读参考文献[1]和[9]。

2. 帧选择功能

当UE处于切换状态时，就会产生帧选择。呼叫过程中的每个Node B会在每个传输块上执行CRC校验，之后每个Node B得到的CRCI和质量评估值（Quality Estimate，QE）就会通过DCH成帧协议来发送到当前服务的RNC中。当前服务RNC中的帧选择功能利用CRCI和QE值来评估CRCI和QE，并将其发送到上行外环功率控制算法中。

3. 上行外环功率控制算法

上行外环功率控制算法利用CRCI和QE值来决定是否需要更新SIR_{target}。在当前服务RNC中，上行外环功能是由于一个或多个物理层实体构成的，其中每个实体都与传输承载有关，传输承载是指一个DCH成帧协议流水线。在多个DCH信

道与一个传输承载有关的情况下，只有一个物理层实体负责处理各组 DCH 信道。每个物理层实体都可以请求更新上行 SIR_{target}。最后，一个上行外环功率控制命令会被发送到呼叫过程中涉及的每个 Node B 中，从而更新上行 SIR_{target}。

10.3.3　上行专用信道的内环功率控制

上行内环功率控制功能通过改变 UE 的发射功率来实现上行 DCH 信道的目标 SIR。由于控制环的运行频率可以达到 1500 次/s，因此该过程只涉及 UE 和 Node B。内环功率控制流程包括以下 4 个步骤：

1）UE 首先在上行 DCH 信道上发送用户数据给 Node B；

2）Node B 进行 SIR 评估，并对 SIR_{est} 和 SIR_{target} 进行比较；

3）根据上一步比较的结果，Node B 利用专用下行控制信道（DPCCH 信道中的 TPC）来发送发射功率控制命令给 UE；

4）根据 TPC 命令中的信息，UE 决定是提高发射功率，还是降低发射功率，但 UE 的发射功率必须保持在［P_{Min}，P_{Max}］范围之内。

1. SIR 评估和 TPC 命令生成

Node B 负责进行 SIR 评估，并获取每个无线帧时隙的 SIR_{est} 值。SIR_{est} 是指上行 DPCCH 信道中的导频比特功率与噪声功率的比值，其测量方法在 3GPP 规范并没有具体规定，主要由各个 UE 制造商提供。

根据 SIR_{est}，Node B 可以按照下面的规则生成 TPC 命令：如果 $SIR_{est} \geq SIR_target$，那么 TPC 命令就等于 0，这时就要求 UE 降低发射功率；如果 $SIR_{est} < SIR_target$，那么 TPC 命令等于 1，这时就要求 UE 提高发射功率。

TPC 命令是由一个 TPC 比特来表示的，Node B 以什么样的频率将 TPC 命令应用到下行信道是由下行内环时间指定的，而功率控制过程应该以多快的频率运行是由使用的功率控制模式决定的。接下来将讨论关于 TPC 比特样式、下行内环时间和下行内环功率控制模式等内容。

（1）TPC 比特样式　TPC 命令是在下行 DPCCH 的 TPC 域中通过 3 个 TPC 比特样式中的 1 种样式来发送的，如表 10-3 所示。根据不同的时隙格式，使用不同的 TPC 比特样式。时隙格式与 N_{TPC} 值之间的关系在参考文献［4］中给出了描述。

表 10-3　TPC 比特样式（引用已经过 ETSI 允许）

TPC 比特样式			发射端功率控制命令
$N_{TPC}=2$	$N_{TPC}=4$	$N_{TPC}=8$	
11	1111	11111111	1
00	0000	00000000	0

(2) 下行内环时间　当UE从Node B接收到TPC命令之后，UE必须在第1个有效时隙的上行导频域的起点处更新其上行DPCH输出功率。根据UE和Node B之间的传输延迟，更新过程开始的导频域可能属于某个时隙，该时隙的位置比Node B中计算SIR_{est}的时隙落后一点。

2. 上行内环功率控制算法

上行内环功率控制流程负责调整UE的发射功率，以使接收到的上行SIR满足目标SIR_{target}。

当在一个时隙内从各个Node B接收到一个或多个TPC命令之后，UE将利用算法1或算法2为该时隙提取出一个TPC命令[5]，即TPC_cmd。具体使用哪种算法是由UE指定的高层参数即功率控制算法（PCA）决定的，功率控制算法由UTRAN控制。如果功率控制算法指明使用算法1，那么物理层参数即功率控制算法（PCA）就设置成1，并使用算法1来提取TPC命令；如果功率控制算法指明使用算法2，那么PCA将设置成2，并使用算法2来提取TPC命令。

(1) 算法1　算法1是基本的内环算法，运行频率为1500次/s。对于UE是处于软切换过程还是不处于软切换过程中，算法1的工作原理是不相同的。

当UE处于软切换/更软切换过程中时，UE在每个时隙中只会接收到一个TPC命令，即0或1。这种情况下，UE按照如下的步骤来为该时隙提取TPC_cmd：

1) 如果接收到的TPC命令等于0，那么TPC_cmd就等于−1，意味着降低功率；

2) 如果接收到的TPC命令等于1，那么TPC_cmd就等于1，意味着提高功率。

当UE处于更软切换过程中时，在一个时隙中从不同链路中接收到的TPC命令是相同的，因为TPC命令都是从相同的B节点中发送出来的。UE是由RRC信令通知的，并将这些TPC命令合并成一个TPC命令，从而提高正确TPC字的检测准确度。

当UE处于软切换过程中时，算法1的原理与更软切换过程中有一点相似。首先，UE必须在每个功率控制命令TPC_i上引入一个软符号决议W_i，其中$i=1, 2, \cdots, N$，N是指从不同Node B接收到的TPC命令数量。之后，UE将得到一个合并的TPC命令（即TPC_cmd）作为软符号决议的函数γ[5]，如式(10-7)所示：

$$TPC_cmd = \gamma(W_1, W_2, \cdots, W_N) \tag{10-7}$$

TPC_cmd的值可以等于1或者−1。根据参考文献[5]，上面给定的函数γ必须满足以下标准：

1) 如果各个TPC命令是随机的，而且相互之间是无关联的，其中每个

TPC 命令被作为 0 或 1 发送的可能性是相同的，那么 TPC _ cmd 等于 1 的可能性必须大于或等于 $1/(2^N)$，而且 TPC _ cmd 等于 −1 的可能性必须大于或等于 0.5。

2）如果从涉及到的各个 Node B 处接收到的 TPC 命令肯定为 1，那么 TPC _ cmd 就等于 +1。

3）如果从涉及到的各个 Node B 处接收到的 TPC 命令肯定为 0，那么 TPC _ cmd 就等于 −1。

在软切换过程中，UE 可能会在某些链路中接收到“提高”命令，而在其他链路中接收到“降低”命令。这种情况下，根据上面描述的算法，UE 应该降低发射功率。只有当 UE 在所有链路中都接收到“提高”命令时，才会提高发射功率。

（2）算法 2　在算法 2 中，内环的运行频率下降到了 300 Hz。算法 2 可以提高 TPC 命令的可靠性，并允许通过发送一个交叉 TPC 命令序列来关闭功率控制功能。但是，由于内环功率控制流程运行的频率较慢，因此可能会影响到快速衰减信道的追踪。

UE 是处于软切换过程还是不处于软切换过程中，算法 2 的工作原理也是不相同的，参考文献 [5] 中给出了描述。

当 UE 不处于软切换/更软切换过程中时，UE 在每个时隙中只能接收到一个 TPC 命令，并在 5 个时隙周期内处理接收到的 TPC 命令。5 个时隙周期组必须位于帧边界处，而且各个周期组之间不能出现重叠。第 5 个时隙中的 TPC _ cmd值用来决定是提高 UE 发射功率，还是降低或保持不变。UE 按照如下的规则为每个时隙提取 TPC _ cmd 值：

1）前 4 个时隙的 TPC _ cmd 等于 0；

2）第 5 个时隙中，UE 在 5 个接收到的 TPC 命令上使用硬决议，如下所示：如果同一组中的所有 5 个硬决议都为 1，那么第 5 个时隙的 TPC _ cmd 就等于 1，这表示提高发射功率；如果所有 5 个硬决议都是 0，那么第 5 个时隙的 TPC _ cmd 就等于 −1，这表示降低发射功率；否则，第 5 个时隙的 TPC _ cmd 就等于 0，这表示发射功率不发生变化。

当 UE 处于更软切换过程中时，将使用与算法 1 中相同的处理流程。UE 负责将各个 TPC 命令合并成一个 TPC 命令。

当 UE 处于软切换过程中时，UE 用下面描述的方案来合并从各个 Node B 中接收到的 TPC 命令。

UE 根据每个 TPC_i 形成一个“硬决议”，其中 $i=1, 2, \cdots, N$，N 是指从不同 Node B 接收到的 TPC 命令数量。UE 是为 5 个连续的时隙形成的这个“硬决议”，这样 5 个时隙中每个时隙就拥有 N 个“硬决议”。另外，各组 5 个时隙必须位于帧边界处，而且各组之间不能出现重叠。

前4个时隙的TPC _ cmd为0，在第5个时隙末端，UE按照下面的方式来决定第5个时隙的TPC _ cmd。

对于N组5个TPC命令中的每一组来说，UE首先按照如下规则确定一个临时的TPC命令，即对于TPC_temp_i：

1）如果一组中所有5个“硬决议”都是1，那么$TPC_temp_i=1$；

2）如果一组中所有5个“硬决议”都是0，那么$TPC_temp_i=-1$；

3）否则，$TPC_temp_i=0$。

之后，UE将为第5个时隙提取出一个合并的TPC _ cmd，作为所有TPC_temp_i的一个函数γ，如式（10-8）所示：

$$TPC_cmd(5th\ slot) = \gamma(TPC_temp_1, TPC_temp_2, \cdots, TPC_temp_N) \tag{10-8}$$

式中，TPC _ cmd（5th slot）是指第5个时隙的TPC _ cmd，可以根据如下规则来取值1、-1或0：

1）如果所有的$TPC_temp_i=-1$，那么$TPC_cmd=-1$；

2）如果$\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N} TPC_temp_i > 0.5$，$TPC_cmd=-1$；

3）否则，$TPC_cmd=0$。

3. 上行内环功率控制执行过程

在得到TPC _ cmd之后，UE将按照如下规则调整各个上行DPCH信道的发射功率：

1）如果TPC _ cmd等于1，那么上行DPCCH信道和DPDCH的发射功率就提高Δ_{TPC}dB；

2）如果TPC _ cmd等于-1，那么上行DPCCH信道和DPDCH的发射功率就降低Δ_{TPC}dB；

3）如果TPC _ cmd等于0，那么上行DPCCH信道和DPDCH的发射功率就保持不变。

对于算法1，步长Δ_{TPC}是一个从UE指定的高层参数TPC _ StepSize中提取到的物理层参数，其中参数TPC _ StepSize由UTRAN控制。根据3GPP规范[6]，UE发射端必须支持1 dB、2 dB和3 dB的功率调整步长。例如，如果TPC _ StepSize的值为1 dB，那么Δ_{TPC}就可以是1 dB；如果TPC _ StepSize的值为2 dB，那么Δ_{TPC}就可以是2 dB。对于算法2，Δ_{TPC}的值始终为1 dB。

（1）最大UE发射功率　由于UMTS系统的性能会收到干扰的限制，因此UE发射功率不能超过最大发射功率。最大发射功率是由“最大允许上行发射功率”消息决定的，该消息通过RRC信令（参考文献[6]中给出了描述）从当前服务RNC发送到UE。如果一个连接（如软切换或更软切换）中涉及到多个无

线链路，那么当前服务 RNC 将按照式（10-9）来计算最大 UE 发射功率：

$$\text{Max_UL_Tx_Power} = \text{Min}(\text{Max_UL_Power1}, \cdots, \text{Max_UL_Power}N) \tag{10-9}$$

式中，N 是指呼叫过程中涉及到的无线链路的数量。该限制条件是在呼叫建立过程或者添加新链路的过程中或者删除现有链路的过程中计算的。当接收到相关的 RRC 消息之后，UE 将会保持上行发射功率低于 RRC 消息中指定的功率值。

（2）最小 UE 发射功率　最小 UE 发射功率不是由无线网络设置的，而是由 3GPP 规范 [3] 指定的。最小输出功率是指一个时隙中的平均功率，该时隙是由一个具有上升根（Root-Raised）余弦滤波器响应的滤波器进行测量的，该滤波器的余弦滚降因子为 $\alpha=0.22$，其带宽等于码片速率。参考文献 [3] 中指定的最小输出功率必须低于 −50 dBm。

4. 上行 DPCCH/DPDCH 信道功率增益

在第 7 章我们讨论过，扩频因子和速率匹配过程与无线帧中即将发送的数据量有关。因此上行 DPDCH 信道中每个符号中的信号能量，会随着瞬间 DPDCH 信道功率等级的瞬间数据速率变化而变化。

上行 DPCCH 信道被上行内环控制看作成一个参考序列，在该序列上可以实现 SIR_{target}。如果 SIR_{target} 保持不变，而且上行 DPDCH 信道与 DPCCH 信道的功率比一直都是常量，那么 DPDCH 信道上的 SIR 就是一个瞬间数据速率的函数，这是不能接受的。因此，必须使用上行 DPDCH 信道与 DPCCH 信道之间的功率增益概念来提供一个 DPDCH QoS，该 QoS 与瞬间数据速率无关。上行 DPDCH 信道与 DPCCH 信道之间的相对功率增益可以抵消处理增益的波动。

功率增益机制的基础是上行 DPCCH 信道和 DPDCH 信道采用不同的信道编码进行发送，如图 10-3 所示。在图 10-3 中，利用 OVSF 码进行扩频之后，DPCCH 信道和 DPDCH 信道中的信号分别利用功率增益因子 G_c 和 G_d 进行加权。在任何一个瞬间，两个因子中至少有一个的幅度为 1.0。增益因子的值被量

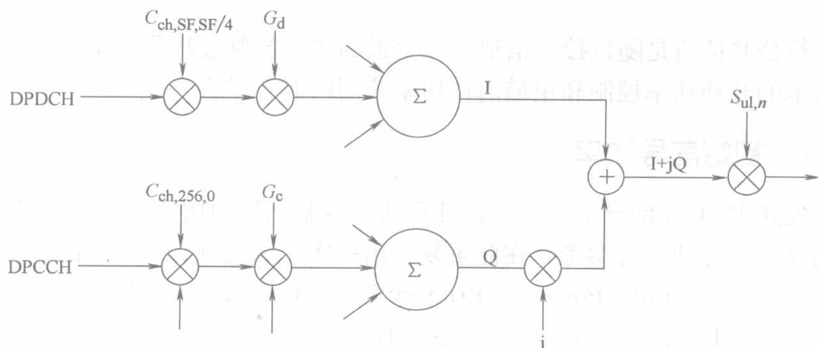


图 10-3　上行物理信道的扩频和扰码

化成了16个等级，如表10-4所示。

表10-4　增益因子的量化

G_c和G_d的信令值	G_c和G_d的量化幅度比例	G_c和G_d的信令值	G_c和G_d的量化幅度比例
15	1.0	7	7/15
14	14/15	6	6/15
13	13/15	5	5/15
12	12/15	4	4/15
11	11/15	3	3/15
10	10/15	2	2/15
9	9/15	1	1/15
8	8/15	0	无

在传输格式合并集（Transport Format Combination Set，TFCS）中，每个传输格式合并（TFC）都定义了一组G_c和G_d。这些G_c和G_d都是由RNC通过RRC信令发送到UE的，或者通过NBAP消息发送到Node B。不同TFC对应的DPCCH码和DPDCH码有两种控制增益因子的方法：第1种方法中，G_c和G_d被编码成信令，编码后的信令直接用来对DPCCH和DPDCH信道中的信号进行加权；第2种方法中，G_c和G_d根据参考TFC的信令设置来计算TFC。关于增益因子计算过程的详细内容，读者可以阅读参考文献[5]。

通过合并以上两种方法，可以使G_c和G_d的值与TFCS中的所有TFC关联起来。DPDCH信道和DPCCH信道之间的相对增益因子可以在无线帧的基础上，根据当前使用的TFC来更新。在每个时隙中，上行内环功率控制过程是相互独立的，该过程负责更新DPCCH信道的绝对功率等级，步长为$\pm\Delta$TPC dB。

10.4　上行公共信道的功率控制

上行公共信道是随机接入信道，该信道的功率控制过程是一个基于前导功率倾斜技术的开环功率控制和粗糙内环功率控制的混合过程。

10.4.1　初始前导功率

在发送RACH前导部分之前，开环功率控制流程利用式（7-9）来计算初始前导功率，为方便读者参考，在此重复引用一次，如式（10-10）所示：

$$\text{Preamble_Initial_Power} = \text{Primary CPICH TX Power-CPICH_RSCP} + \text{UL Interference(上行参考值)} + \text{Constant Value(常量)} \tag{10-10}$$

式中，Preamble _ Initial _ Power是指前导初始功率；Primary CPICH TX

Power 是指 P-CPICH 信道的发射功率；CPICH _ RSCP（CPICH 接收到的信号代码功率）是指 UE 测量的接收信号编码功率测量值；UL Interference（上行参考值）是指 Node B 中接收信号强度指示（RSSI）测量过程对应的参考值；Constant Value（常量）是UTRAN 参数定义的一个常数，该 UTRAN 参数负责为UE 设置 RACH 信道上需要达到的目标 SIR。式（10-10）中的后面 3 个参数由UTRAN 发送指定。

10.4.2　连续前导功率

如果在发送完初始 RACH 前导之后，UE 没有在RACH 信道上从 Node B 接收到确认消息，那么 UE 将会在相同的功率倾斜周期内提高下一个 RACH 前导的发射功率，如式(10-11）所示：

$$\text{Next_preamble_power} = \text{Previous_preamble_power} + \text{PowerRampStep} \tag{10-11}$$

式中，Previous _ preamble _ power 是指相同功率倾斜周期内前一个 RACH 前导的发射功率；PowerRampStep 是指功率递增步长，由 UTRAN 参数定义。

在功率倾斜周期内，UE 按照式（10-11）中的递增功率重发 RACH 前导，直到 UE 接收到一个确认消息（ACK）或非确认消息（NACK），或者直至达到 UTRAN 参数定义的最大重发前导次数，即 MaxRetranPreamble。RACH 前导的最大功率会受到 UE 容量的限制。

在 Node B 中，有一个 RACH 前导检测器。UTRAN 参数负责设置检测器的检测门限值。在前导周期内，接收到的前导功率与参考功率等级的比值必须高于该门限值，这样 RACH 前导才能被检测到，并被 Node B 确认。

10.4.3　RACH 消息部分功率

RACH 消息部分功率必须高于最后一个前导的功率，从而提高 RACH 消息部分的检测准确性。RACH 消息部分主要由控制部分和数据部分组成。RACH 消息控制部分功率由式（10-12）给出：

$$P_{\text{RACH_Msg_Control}} = \text{ACK_Preamble_Power} + \text{PowerOffsetPpm} \tag{10-12}$$

式中，ACK _ Preamble _ Power 是指最后一次发送 RACH 前导时的功率，该 RACH 前导已经由 Node B 在 AICH 上确认；PowerOffsetPpm 是指已经确认的 RACH 前导和 RACH 消息控制部分功率之间的功率偏差。

RACH 消息数据部分的功率由增益因子控制，增益因子按照类似于上行专用物理信道的方法定义了控制部分和数据部分的相对功率。具体来说，RACH 消息数据部分的功率由式（10-13）给出：

$$P_{\text{RACH_Msg_Part_Data}} = \text{取整}\{10\lg[1 + (G_d/G_c)^2]\} \tag{10-13}$$

式中，G_c 是指控制部分增益因子；G_d 是指数据部分增益因子。

消息部分的总功率是指控制部分功率与数据部分功率的和，其值受 RACH 信道上的最大允许功率限制，该最大允许功率由 sib3MaxAllowedULTxPower 消息和 sib4MaxAllowedULTxPower 消息决定，这两个消息是通过 SIB 类型 3 和 SIB 类型 4 在 BCCH 信道上广播的。如果式（10-13）计算得到的总功率高于最大允许功率，那么总功率就必须设置成该最大允许功率值，而且控制部分的功率与数据部分的功率之间的比值保持不变。

10.5 压缩模式中的功率控制

在压缩模式中，部分无线帧会被压缩，并包含多个传输间隔（在传输间隔中可能没有 TPC 比特）。在压缩模式中，功率控制的目的就是在每个传输间隔之后尽快地存储 SIR，使其值最接近目标 SIR。压缩模式中的功率控制过程在参考文献 [5] 中给出了描述，本节只讨论压缩模式中的常用功率控制方法，其中包括下行功率控制和上行功率控制。

10.5.1 压缩模式中的下行功率控制

在压缩模式中，在压缩帧的传输间隔内，下行 DPDCH 信道和 DPCCH 信道的传输过程会被终止。在传输间隔之后的第 1 个时隙内，DPCCH 信道和 DPDCH 信道的功率应该设置成与传输间隔之前的最后一个时隙内的功率相同。

根据参考文献 [5]，在压缩模式中，除了下行传输间隔之外，UTRAN 负责对第 k 个 TPC 命令进行评估，并将当前下行功率 $P(k-1)$ 调整为一个新的功率 $P(k)$，如式（10-14）所示：

$$P(k) = P(k-1) + P_{TPC}(k) + P_{SIR}(k) + P_{bal}(k) \tag{10-14}$$

式（10-14）中的参数都与式（10-3）中的基本相同，除了一个新参数 $P_{SIR}(k)$ 之外。$P_{SIR}(k)$ 是指根据下行目标 SIR 的变化而进行的第 k 次功率调整量。

对于单个 TPC 来说（DPC _ Mode＝0），如果没有接收到上行 TPC 命令，那么 Node B 得到的 $P_{TPC}(k)$ 就必须设置为 0；否则，$P_{TPC}(k)$ 就必须按照 10.1.2 节描述的正常模式中的方法进行计算，其中新的功率控制步长为 Δ_{STEP}。其中，在每个传输间隔之后的恢复周期长度内的时隙中，新的步长 Δ_{STEP} 等于 $\Delta_{RP\text{-}TPC}$；其他时隙中，新的步长 Δ_{STEP} 等于 Δ_{TPC}。$\Delta_{RP\text{-}TPC}$ 称为恢复周期功率控制步长，其值等于 Min（3dB，$2\Delta_{TPC}$）（Min（A，B）是指取 A 和 B 之间的小者）。

恢复周期长度（Recovery Period Length，RPL）是指压缩模式间隔之后任意方向中上行 DPCCH 和下行 DPCCH 同时恢复的时间，其值等于 Min（TGL，7）个时隙，其中 TGL 是指传输间隔长度。如果传输间隔在 RPL 结束之前又重

新开始，那么恢复时间必须在间隔的起点处结束，RPL 的值必须相应地减小。

对于三态 TPC 来说（DPC_Mode=1），TPC 命令压缩时的各个 3 时隙组必须位于压缩帧的帧边界处。如果有一组不完全的 TPC 命令，那么 UE 必须在所有不完全的时隙组中发送相同 TPC 命令。

功率偏差 $P_{SIR}(k)$ 等于 $\delta P_{curr}-\delta P_{prew}$，其中 δP_{curr} 和 δP_{prew} 分别是指当前时隙中的 δP 值和前一个发送时隙中的 δP 值。δP 的值是按照式（10-15）来计算的：

$$\delta P = \text{Max}(\Delta P1_\text{compression},\cdots,\Delta Pn_\text{compression}) + \Delta P1_\text{coding} + \Delta P2_\text{coding} \tag{10-15}$$

式中，n 是指 CCTrCh 信道中所有传输信道 TTI 之间不同 TTI 长度的数量；$\Delta P1$_coding 和 $\Delta P2$_coding 是根据上行参数 DeltaSIR1、DeltaSIR2、DeltaSIRafter1 和 DeltaSIRafter2 来计算的，这些参数由高层指定。

其中，如果传输间隔样式中的第 1 个传输间隔在当前下行帧中开始，那么 $\Delta P1$_coding 等于 DeltaSIR1；如果在前一个下行帧中开始，那么 $\Delta P1$_coding 等于 DeltaSIR2。类似地，如果传输间隔样式中的第 2 个传输间隔在当前下行帧中开始，那么 $\Delta P2$_coding 等于 DeltaSIRafter1；如果在前一个下行帧中开始，那么 $\Delta P2$_coding 等于 DeltaSIRafter2。其他情况下，$\Delta P1$_coding 和 $\Delta P2$_coding 都等于 0 dB。

下行帧的 ΔPi_compression 等于 3 dB，该下行帧通过把扩频因子减小 2 来进行压缩。如果通过穿孔方法在当前 TTI 内（长度为 F_i 个帧长）生成了一个传输间隔，那么 ΔPi_compression 等于 $10\lg\{15\times F_i/(15\times F_i-\text{TGL}_i)\}$。其中，$\text{TGL}_i$ 是指 F_i 个帧中传输间隔时隙的总数量。其他情况下，ΔPi_compression 都等于 0 dB。

如果同时存在多个压缩模式样式，那么每个单独的压缩模式样式都将计算一个单独的 δP 偏差，然后对所有的 δP 偏差求和，并应用到传输帧中。

10.5.2 压缩模式中的上行功率控制

在压缩模式的上行功率控制中，当前服务蜂窝单元负责对接收到的上行 DPCH 进行信扰比（SIR_{est}）评估，生成 TPC 命令，并在每个时隙中发送一次 TPC 命令（除了下行传输间隔之外）。具体过程如下所述：

1）如果 $\text{SIR}_{est}\geq\text{SIR}_{cm_target}$，那么当前服务蜂窝单元将发送 TPC 命令 0；

2）如果 $\text{SIR}_{est}<\text{SIR}_{cm_target}$，那么当前服务蜂窝单元将发送 TPC 命令 1。

其中，SIR_{cm_target} 是指压缩模式中的目标 SIR，由式（10-16）给出：

$$\text{SIR}_{cm_target} = \text{SIR}_{target} + \Delta\text{SIR}_{PILOT} + \Delta\text{SIR1}_\text{coding} + \Delta\text{SIR2}_\text{coding} \tag{10-16}$$

式中，ΔSIR1_coding 和 ΔSIR2_coding 都是从上行参数 DeltaSIR1、

DeltaSIR2、DeltaSIRafter1 和 DeltaSIRafter2 计算得到的，这些参数由高层指定。

其中，如果传输间隔样式中的第一个传输间隔在当前上行帧中开始，那么 ΔSIR1 _ coding 等于 DeltaSIR1；如果当前上行帧正好位于传输间隔样式中的第1个传输间隔开始的一个上行帧之后，那么 ΔSIR1 _ coding 等于 DeltaSIRafter1。类似地，如果传输间隔样式中的第2个传输间隔在当前上行帧中开始，那么 ΔSIR2 _ coding 等于 DeltaSIR2；如果当前上行帧正好位于传输间隔样式中的第1个传输间隔开始的一个上行帧之后，那么 ΔSIR2 _ coding 等于 DeltaSIRafter2。其他情况下，ΔSIR1 _ coding 和 ΔSIR2 _ coding 都等于 0 dB。

ΔSIR_{PILOT}的定义如式（10-17）所示：

$$\Delta SIR_{PILOT} = 10\lg(N_{pilot,N}/N_{pilot,curr_frame}) \tag{10-17}$$

式中，$N_{pilot,curr_frame}$是指当前压缩上行帧的每个时隙中导频比特的数量；$N_{pilot,N}$是指正常上行帧的每个时隙中导频比特的数量（没有传输间隔）。

如果同时存在多个压缩模式样式，那么每个压缩模式样式都将单独计算 ΔSIR1 _ coding 和 ΔSIR2 _coding，然后对所有的 ΔSIR1 _ coding 偏差和ΔSIR2 _ coding 偏差求和，并应用到式（10-16）中。

在压缩模式中，部分时隙会由于传输间隔的原因在下行传输中丢失 TPC 命令。如果没有发送下行 TPC 命令，那么从 UE 得到的相应 TPC _ cmd 就必须设置为 0。

压缩帧中和非压缩帧中，下行 DPCCH 中每个时隙的导频比特数量可能会不同。因此，必须改变上行 DPCCH 信道的发射功率，以补偿总体导频能量的变化。因此，在每个时隙的起点处，UE 必须得到功率的偏差值 Δ_{PILOT}。Δ_{PILOT}由式（10-18）给出：

$$\Delta_{PILOT} = 10\lg(N_{pilot,prev}/N_{pilot,curr}) \tag{10-18}$$

式中，$N_{pilot,prev}$和 $N_{pilot,curr}$分别为最近发送时隙和当前发送时隙中导频比特的数量。在传输间隔的各个时隙中，Δ_{PILOT}等于 0 dB。

在压缩模式的各个时隙（除了传输间隔之后的恢复周期时隙）中，UE 负责调整上行 DPCCH 信道的发射功率，其调整步长 Δ_{DPCCH}由式（10-19）给出：

$$\Delta_{DPCCH} = \Delta_{TPC} TPC_cmd + \Delta_{PILOT} \tag{10-19}$$

在上行或下行传输间隔之后的第1个时隙的起点处，UE 必须根据最近发送上行时隙中的上行 DPCCH 信道功率来将上行 DPCCH 的发射功率增加或降低 Δ_{DPCCH} dB。这种情况下，Δ_{DPCCH}由式（10-20）给出：

$$\Delta_{DPCCH} = \Delta_{RESUME} + \Delta_{PILOT} \tag{10-20}$$

式中，Δ_{RESUME}的值（单位为 dB）由 UE 根据初始发射功率（Initial Transmit Power，ITP）模式来确定。ITP 是一个 UE 指定的参数，由网络和其他压缩

模式参数发送。关于ITP模式更详细的内容，感兴趣的读者可以阅读参考文献[5]和[9]。

在恢复周期内，有两种功率控制算法模式。恢复周期功率（Recovery Period Power，RPP）控制模式是由其他压缩模式参数发送的。

对于恢复周期功率控制模式0，将使用10.3.3节中描述的常用发射功率控制机制，而且在恢复周期内调整步长将不会变化。

对于恢复周期功率控制模式1，在恢复周期长度时隙内将使用功率控制算法1，同时不采用步长Δ_{TPC}，而采用步长$\Delta_{RP\text{-}TPC}$。在传输间隔之后的每个恢复周期长度时隙内（除了传输间隔后的第1个时隙），上行DPCCH发射功率的变化步长由式（10-21）给出：

$$\Delta_{DPCCH} = \Delta_{RP\text{-}TPC}\, TPC_cmd + \Delta_{PILOT} \tag{10-21}$$

在恢复周期之后，将使用常用的发射功率控制机制，同时使用PCA值指定的算法，步长为Δ_{TPC}。

10.6 小结

上行链路和下行链路中的公共信道和专用信道都使用了功率控制机制，包括开环功率控制和闭环功率控制。其中，开环功率控制机制负责设置各个信道的初始发射功率，闭环功率控制机制由外环功率控制流程和内环功率控制流程组成。其中，外环功率控制流程负责设置目标SIR，并将其发送到内环功率控制流程中；而内环功率控制流程负责调整编码信道功率，以便测得的SIR满足目标SIR的要求。开环功率控制流程和闭环功率控制流程都可以用于专用信道。但公共信道中没有闭环功率控制流程，公共信道的功率控制功能用来设置各个公共信道的功率等级。

上行链路中的外环功率控制流程自动运行在RNC中，下行链路中的外环功率控制流程自动运行在UE中。3GPP规范并没有具体规定外环功率控制流程应该如何实现，其具体算法是由设备提供商指定的。

内环功率控制流程是由UE和Node B一起执行的。在下行链路中，UE负责测量下行链路的功率，计算SIR，并将其与目标SIR进行比较，然后在上行DPCCH信道上将TPC比特发送到Node B中。之后，Node B负责读取接收到的TPC比特，并对下行DCH信道的功率进行相应调整。在上行链路中，Node B负责测量上行链路的功率，计算SIR，并将其与目标SIR进行比较，然后在下行DPCH信道中将TPC比特发送给UE。之后，UE负责读取接收到的TPC比特，并对上行DCH信道的功率进行相应调整。

对于下行专用信道来说，开环功率控制流程负责在呼叫建立过程中和添加新

的连接时设置初始功率，而闭环功率控制流程相应地调整功率。在开环功率控制流程中，RNC在无线链路建立过程中或无线连接添加过程中，通过NBAP信令来为Node B提供初始下行发射功率信息。闭环功率控制流程由外环功率控制流程和内环功率控制流程组成。其中，外环功率控制流程（运行频率为100 Hz）负责设置SIR目标；内环功率控制流程（运行频率为1500 Hz）负责调整发射功率，以确保接收到的SIR满足SIR目标。

下行公共信道的功率控制功能负责设置下行公共信道的功率等级，所有下行公共信道的发射功率都是由RNC控制的。通常，所有公共信道中都没有控制环。正常情况下，P-CPICH信道的功率等级应该设置为Node B总发射功率的10%左右。相对于P-CPICH信道的功率等级，P-SCH信道和S-SCH信道的功率等级分别设置为−3 dB和−5 dB。PCCPCH信道的功率等级也设置为−3 dB，SCCPCH信道负责承载时间上复用的FACH信道和PCH信道。正常情况下，相对于P-CPICH信道的功率等级，FACH信道和PCH信道的功率等级应该设置为4 dB，PICH信道的功率等级应该设置为−6 dB，AICH信道的功率等级应该设置为−5 dB。

上行专用信道的功率控制机制与下行专用信道的功率控制机制类似。上行专用信道的功率控制包括开环功率控制和闭环功率控制，开环功率控制功能用来设置信道的初始发射功率，闭环功率控制负责调整信道的发射功率。

上行公共信道的功率控制功能包括计算初始前导功率、连续前导功率和随机接入信道的RACH消息功率。

压缩模式中，功率控制的目的就是在每个传输间隔之后尽快地存储SIR，使其值最接近目标SIR。在压缩模式下，下行DPDCH信道和DPCCH信道不是在压缩帧的传输间隔中发送的。压缩间隔之后的第1个时隙中的DPDCH信道和DPCCH信道功率，应该设置成与传输间隔之前的最后一个时隙中的功率相同。在上行链路中，当前服务单元负责评估接收到的上行DPCH信道信扰比（SIR_{est}），生成TPC命令，并在每个时隙中（除了下行传输间隔之外）发送一次TPC命令。之后，UE提取出TPC命令，并作出相应的处理。

参 考 文 献

[1] 3GPP TS 25.133，v5.8.0. Requirement for support of radio resource management（FDD），Release 5.

[2] 3GPP TS 25.433，v5.6.0. UTRAN Iub Interface NBAP Signaling，Release 5.

[3] 3GPP TS 25.101，v5.6.0. UE radio transmission and reception（FDD），Release 5.

[4] 3GPP TS 25.211，v5.3.0. Physical channels and mapping of transport channels onto physi-

cal channels (FDD), Release 5.

[5] 3GPP TS 25.214, v5.6.0. Physical layer procedures (FDD), Release 5.

[6] 3GPP TS 25.331, v5.7.1. Radio Resource Control (RRC); protocol specification, Release 5.

[7] 3GPP TS 25.104, v6.3.0. Base Station (BS) Radio transmission and reception (FDD), Release 5.

[8] 3GPP TS 25.427, v5.5.0. UTRAN Iub/Iur Interface user plane protocols for DCH data streams, Release 5.

[9] 3GPP TS 25.215, v5.5.0. Physical layer measurements (FDD), Release 5.

第 11 章　HSDPA 概述

在 3GPP 规范的 Release 5 版本中给出了高速下行分组接入（HSDPA）技术的国际标准。HSDPA 技术可以提升系统容量，提高下行方向的用户数据速率，同时还可以提供基于分组的数据业务，在 5 MHz 的带宽内可以提供约 10 Mbit/s 的数据速率。HSDPA 的优越性能来源于 HSDPA 技术的多项关键特征，包括自适应调制与编码（AMC）、快速调度、混合自动重发请求（HARQ）、快速蜂窝搜索和先进的接收端设计。

在 3GPP 标准中，Release 4 版本的规范提供了足够多的 IP 支持，从而可以通过全 IP 网络来提供各种业务；Release 5 版本的规范利用 HSDPA 技术可以提供约 10 Mbit/s 的数据速率，从而可以支持基于分组数据的多媒体业务；Release 6 版本的规范支持多输入多输出（Multiple-input Multiple-output，MIMO）技术，可以提供高达 20 Mbit/s 的数据速率。HSDPA 技术是从 Release 99 版本的规范演进而来的，而且后向兼容 Release 99 版本的规范。在 Release 99 版本和 Release 4 版本的规范中，可以在 DPCH、FACH 和 DSCH 信道上发送数据。但是，DPCH 信道在编码使用率和链路建立时间上效率较低，而 DSCH 信道的编码使用率较高，但其容量不够；不过 Release 99 版本和 Release 4 版本的规范中信道可以使用短传输间隔和快速资源分配技术。基于 Release 99 版本规范的网络目前已经全面部署了，该网络可以通过添加或切换到 HSDPA 特征来支持 HSDPA 技术。HSDPA 技术具有更高的系统容量，具体表现在更高的系统吞吐量和更高的用户数据速率。与 HSDPA 技术相关的信息在各种 3GPP 技术规范中都给出了描述[1]~[7]。

本章将主要介绍 HSDPA 的一些关键性概念，包括 HSDPA 技术的关键特征、HSDPA 信道、物理层工作流程、HSDPA 配置参数和 HSDPA 网络部署的原则。

11.1　HSDPA 的关键特征

采用 HSDPA 技术时，WCDMA 网络中的两个主要特征（可变扩频因子和快速功率控制）就被自适应调制与编码、扩展多编码操作和快速重发技术取代了。另外，HSDPA 技术使用了短传输间隔和快速调度技术，这两种技术使得系统可以在短时间内对各种变化作出响应，并在 Node B 中快速实现调度决策。其他的 HSDPA 技术特征包括简单编码分配、高效的功率分配、无下行软切换和对

各种 UE 的支持等。

11.1.1 自适应调制与编码

在 Release 99 版本的规范中，WCDMA 网络利用快速功率控制功能来实现无线链路自适应。快速功率控制功能的运行频率为 1500 Hz 或 1500 次/s；换句话说，快速功率控制功能是以每个时隙为基础的。之所以需要采用链路自适应技术，是因为 UE 端接收到的信号其 SIR 会随着时间的变化而变化，这是因为个别蜂窝单元会由于地理位置的原因而产生快速衰减。为了克服衰减效应并提高系统容量和峰值数据速率，UE 的发射功率必须通过链路自适应技术来根据信号的变化进行调整。

在 HSDPA 技术中，一个 TTI 内的发射功率始终保持不变。HSDPA 技术利用自适应调制与编码作为一种替代的技术来实现功率控制，从而提高频谱利用率。换句话说，HSDPA 技术中的链路自适应技术根据无线链路的质量对调制方案和编码方案进行了优化。除了 QPSK 方案之外，HSDPA 技术中还使用了更高阶的调制方案，如 16 正交幅度调制（16-QAM）方案。调制过程是基于无线信道环境进行的。在 HSDPA 技术中，QPSK 调制方案的数据速率可以达到 7.2 Mbit/s，16-QAM 调制方案可以达到更高的数据速率。QPSK 可以支持 2bit/符号，16-QAM 可以支持 4bit/符号。因此，16-QAM 调制方案的峰值速率是 QPSK 调制方案的两倍，其信道带宽利用率也就更高。HSDPA 技术中还使用了自适应编码速率技术，该技术是基于 UE 的信道质量反馈和有效 Node B 资源，包括编码方案和功率设置。扩频因子始终保持不变，但是编码速率可以为 1/4、1/2、5/8 和 3/4。Node B 负责在相关信道上接收信道质量指示（Channel Quality Indicator，CQI）报告和功率测量结果，然后根据这些信息，Node B 确定传输数据速率。HSDPA 技术的最低要求是，链路自适应技术可以确保接近 Node B 的用户（具有良好的信号质量）可以利用较高的编码速率实现最高的数据速率，而处于 Node B 边缘的用户（信号质量较差）可以利用较低的编码速率实现尽可能高的数据速率。

表 11-1 给出了采用不同调制方案和编码速率时，HSDPA 技术可实现的最高和最低峰值用户数据速率。

表 11-1 HSDPA 用户数据速率

HS-PDSCH 编码序号	调制方案	速率匹配后每个 TTI 内的比特数/bit	最低峰值用户数据速率/(kbit/s) (R_{code}=1/3)	最高峰值用户数据速率/(kbit/s) (R_{code}=1)
1	QPSK	960	160	480
2		1920	320	960

（续）

HS-PDSCH编码序号	调制方案	速率匹配后每个TTI内的比特数/bit	最低峰值用户数据速率/(kbit/s)（$R_{code}=1/3$）	最高峰值用户数据速率/(kbit/s)（$R_{code}=1$）
3	QPSK	2880	480	1440
4		3840	640	1920
5		4800	800	2400
6		5760	960	2880
7		6720	1120	3360
8		7680	1280	3840
9		8640	1440	4320
10		9600	1600	4800
11		10560	1760	5280
12		11520	1920	5760
13		12480	2080	6240
14		13440	2240	6720
15		14400	2400	7200
1	16-QAM	1920	320	960
2		3840	640	1920
3		5760	960	2880
4		7680	1280	3840
5		9600	1600	4800
6		11520	1920	5760
7		13440	2240	6720
8		15360	2560	7680
9		17280	2880	8640
10		19200	3200	9600
11		21120	3520	10560
12		23040	3840	11520
13		24960	4160	12480
14		26880	4480	13440
15		28800	4800	14400

下面将以表11-1中的HS-PDSCH码为例，详细介绍采用不同调制方案和编码速率时的HSDPA技术特点。在QPSK调制方案中，速率匹配完成之后的每个TTI内有960 bit，这就意味着比特速率为960 bit/2s，或者说480 kbit/s，同

时也说明在 QPSK 之前、编码之后的比特速率为 480 kbit/s。因此，利用编码速率为 1/3 的编码器进行编码之后的最低峰值用户数据速率为 160 kbit/s（480 kbit/s/3）；而利用编码速率为 1 的编码器进行编码之后的最低峰值用户数据速率为 480 kbit/s。在 QPSK 调制方案中，每 2 bit/s 生成 1 个符号。因此，QPSK 调制之前 480 kbit/s 的比特速率相当于 QPSK 调制之后 240 ksps 的符号速率。由于 HS-PDSCH 的扩频因子始终为 16，因此 240 ksps 的符号速率可以扩展成 3.84 Mcps 的码片速率。

在 16-QAM 调制方案中，每 4bit 生成 1 个符号。由于码片速率保持在 3.84 Mcps 不变，所以 16-QAM 调制之前的比特速率为 960 kbit/s。因此，最低峰值用户数据速率为 320 kbit/s，而最高峰值用户数据速率为 960 kbit/s。

在多个 HS-PDSCH 编码中，峰值用户数据速率等于 1 个 HS-PDSCH 编码的峰值用户数据速率乘以 HS-PDSCH 编码的数量。

11.1.2 传输时间间隔

在 Release 99 版本的规范中，传输时间间隔长度包括 10 ms、20 ms、40 ms 和 80 ms，而无线帧的长度始终为 10 ms。在每个无线帧的边界处，物理层会向 MAC 层请求数据。对于长度超过 10 ms 的 TTI 来说，数据必须分割成 10 ms 长的片段，每个分段可以复用到 CCTrCh 信道上一个 10 ms 长的无线帧中。在 HSDPA 技术中，传输时间间隔长度始终为 2 ms，其中包含了 3 个时隙。换句话说，HSDPA 帧是以 2 ms 长的子帧为单位进行传输的，HSDPA 技术中没有复用的传输信道。TTI 越短，就越容易降低高数据速率时的硬件复杂度；同时还可以减小链路自适应的延迟，并提高调度过程中的间隔尺寸，从而更好地追踪随时间变化的无线信道。

11.1.3 调度

在 HSDPA 技术中，下行分组传输调度完全以 UE 反馈的信道质量为基础，分组调度程序驻留在 Node B 中。因此，调度过程是在 Node B 中进行的，与 RNC 没有关系，这样分组调度的决定几乎都是瞬间做出的。另外，调度过程非常快，因为调度的执行过程是以 TTI（2 ms）为时间单位的。

公平调度的一种方法就是“轮循（Round-Robin）复用法”。在轮循复用法中，各个用户是按照顺序进行调度的，这样所有用户都可以得到相同的平均分配时间。另一种公平调度方法就是“比例公平分组调度法”，在该方法中，用户根据瞬间信道质量（相对于平均比特速率）进行调度。由于调度选择是以相对条件为基础的，因此每个用户可以根据自己的信道情况获取大约相同数量的分配时间。还有一种公平调度方法，就是“最大 C/I 分组调度法”。在该方法中，用户

的调度选择完全是根据最大 C/I（最佳信道质量）来进行的，图 11-1 给出了根据信道质量进行快速调度的示例。例如，在第 1 个 TTI 的起点处，UE1 具有最佳信道质量，因此在该 TTI 内系统对 UE1 进行调度；而在第 2 个 TTI 的起点处，UE3 具有最佳的信道质量，因此在该 TTI 内系统对 UE3 进行调度。

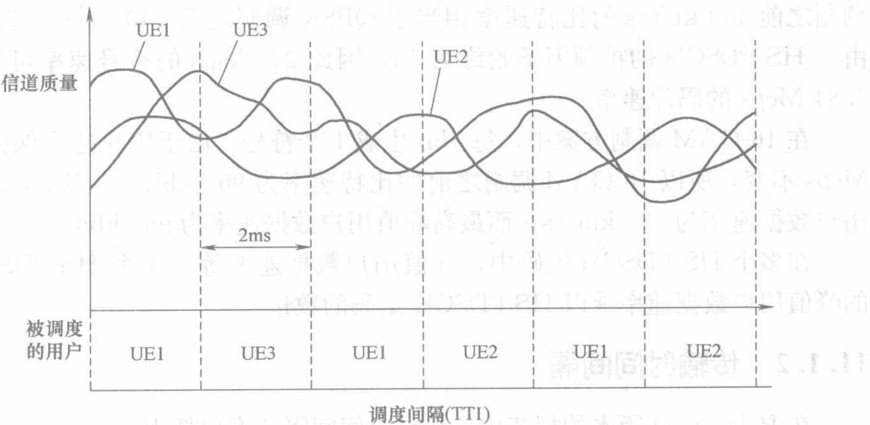


图 11-1 根据信道质量进行的快速调度过程

11.1.4 重发

在 11.1.1 节中我们讨论过，AMC 根据不同的信道条件来采用相应的调制和编码方案。即使在 AMC 之后，由于分组数据在传输过程中信道质量仍然可能会发生变化，因此在接收到的分组数据中也可能存在错误。自动重发请求(ARQ) 机制可以用来恢复这些链路自适应错误。当正常发送的数据在接收时存在错误时，UE 可以快速请求重发该错误数据包。在 Release 99 版本的规范中，重发请求由 RNC 负责处理；在 HSPDA 技术中，重发请求由 Node B 负责处理，同时执行最快的重发过程。图 11-2 给出了 HSDPA 技术和 Release 99 版本的规范之间重发控制的区别。在 Release 99 版本的规范中，传

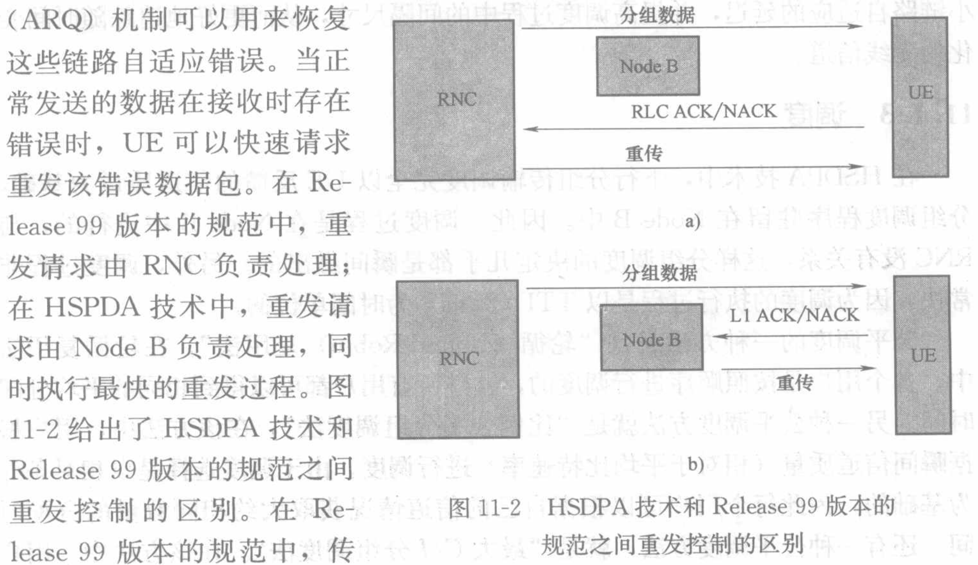


图 11-2 HSDPA 技术和 Release 99 版本的规范之间重发控制的区别

输信道在到达 RNC 之后就结束了。此时，RNC 负责执行各种功能，包括 RLC ARQ、调度、专用信道和公共信道的传输格式选择，而 Node B 不会执行这些功能。在 HSDPA 技术中，HSDPA 媒体接入控制（MAC-hs）实体安装在 Node B 中。有了 MAC-hs 实体之后，Node B 就可以直接控制重发过程了，从而更快地执行重发过程，并进一步减小重发延迟。

HSDPA 在链路级重发中采用了混合自动重发请求（HARQ）技术。HSDPA 使用的 HARQ 协议是停等（Stop And Wait，SAW）协议。在 SAW 协议中，一个 Node B 先发送一个 TTI 块，然后一直等待，直到从 UE 接收到一个确认消息或非确认消息。为了利用 Node B 等待确认的这段时间，UE 可能会设定很多 SAW-ARQ 过程，不同的 SAW-ARQ 过程在相互独立的传输时间间隔内发送。SAW-ARQ 过程的数量在 HS-SCCH 信道中利用 3bit 发送给 UE。SAW-ARQ 过程的最大数量为 8 个，而在实际应用中，通常只为 UE 设定 6 个。

当 UE 在确认消息（ACK）和反向确认消息（NACK）中接收到错误的数据时，UE 就会请求 Node B 重发。一旦 UE 接收到重发的数据后，UE 会在对接收到的消息进行译码前合并原始传输的信息和重发的信息。HARQ 机制中有两种主要重发方案：相位合并和增量冗余。

相位合并方案中重发了包含错误的相同数据分组。当 UE 接收到了重发的分组数据之后，UE 将在对分组数据进行译码之前合并原始分组和重发的分组。这种方法比增量冗余方案浪费了更多的带宽，因为整个错误的分组数据都必须重发。

增量冗余方案从原始发送的分组和重发分组中选择正确的发送比特，从而使对重发请求的需求最小化。这种方法通常用来在带宽不足的情况下获取最理想的性能。在增量冗余方案中，重发数据块只由原始数据分组中的正确比特组成。只有当第 1、第 2、第 3 等次重发分组中包含错误时，附加的冗余比特才会逐次增加发送。

11.1.5 分组传输过程的编码分配和编码复用

HSDPA 技术使用的扩频因子始终为 16。在每个 2 ms 的 TTI 内，最多有 15 个连续的 OVSF 码可以分配给 HS-DSCH 中 15 个并行的 HS-PDSCH 信道。这些信道可能在 TTI 内都会指定给一个用户，也可能分配给多个 HSDPA 用户。换句话说，系统可能会将传输过程都调度给一个 UE，也可能同时调度给多个 UE；系统还可能将传输过程分配给一部分信道质量很好的 UE。实际上，传输过程可以是时分复用的（一个 TTI 内包含一个用户），也可以是码分复用的（一个 TTI 内包含多个用户）。图 11-3 描述了多个用户共享 HS-PDSCH 信道的示意图。

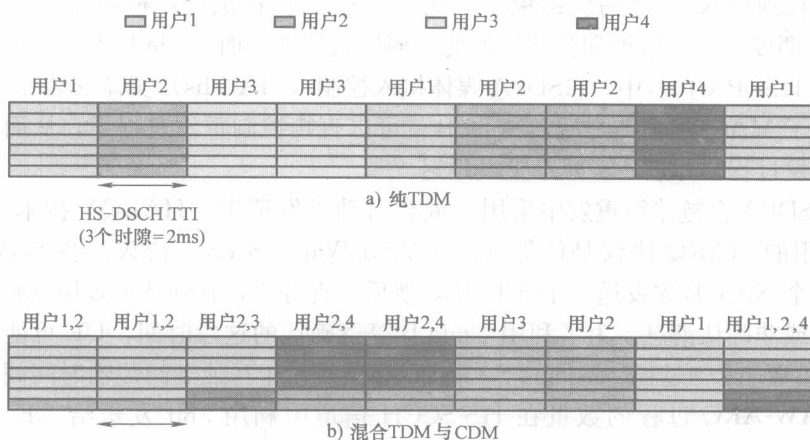


图 11-3 多个用户共享 HS-PDSCH 信道的示意图

11.1.6 功率分配

HSDPA 技术支持专用信道和开销信道以 2 ms 为基础进行剩余功率分配。HS-PDSCH 信道中没有功率控制功能。下行功率的分配可以是静态的，也可以是动态的。图 11-4 给出了下行功率分配的策略示意图。在静态功率分配中，TTI 内 HS-PDSCH 信道和 HS-SCCH 信道的功率总和保持不变。这种情况下，总的可用蜂窝单元功率就没有得到完全利用。如图 11-4 a 所示，有一部分功率

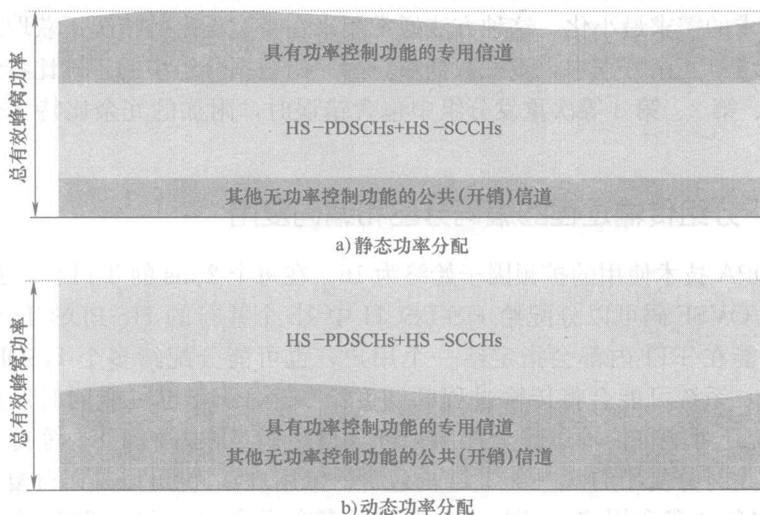


图 11-4 下行功率分配的策略

没有被专用信道的功率控制功能利用到；相反，在图 11-4b 中，即动态功率分配策略中，HS-PDSCH 信道和 HS-SCCH 信道完全利用了 TTI 内专用信道和开销信道的所有剩余功率，没有空闲任何可用蜂窝单元功率。

11.1.7　无下行软切换

尽管一个 Node B 可以为一个或多个 UE 提供服务，但是每个 UE 只能由一个 Node B 提供服务。下行软切换可能会与基于 Node B 的调度和 HARQ 产生冲突，因为软切换允许多个 Node B 同时为一个 UE 提供服务，因此 HSDPA 技术中不支持下行软切换。这个特征与第 1 代演进数据优化（1x Evolution Data Optimized，1x-EVDO）技术类似，因为 1x-EVDO 技术也不支持下行软切换。HSDPA 技术和 1x-EVDO 技术都是利用调度规划来实现下行传输的，不同之处在于，在 1x-EVDO 技术中，一个基站（即 Node B）只能同时为一个移动站提供服务；而在 HSDPA 技术中，一个 Node B 可以同时为多个 UE 提供服务。

11.1.8　HSDPA 技术中的 UE 容量

HSDPA 技术支持 12 种不同类型的 UE，不同类型的 UE 具有各不相同的最高有效数据速率。有效数据速率的范围为 0.9～14.0 Mbit/s。HSDPA 技术中 UE 的信道容量与 Release 99 版本中 UE 的信道容量无关。如果 UE 采用 HS-DSCH 信道配置，那么 UE 的下行 DCH 信道容量会被限制与 Release 99 版本中 UE 的信道容量相同。典型的 UE 下行 DCH 信道容量为 32 kbit/s、64 kbit/s、128 kbit/s 或 384 kbit/s。

UE 的信道容量不会影响到各个 TTI 传输过程中的时间结构，但 UE 的信道容量确实定义了 Node B 向 UE 发送数据分组的频繁程度。UE 信道容量中包含了一个数值（1、2 和 3），该数值定义了最小 TTI 间间隔。数值 1 说明可能使用了连续的 TTI，数值 2 和数值 3 分别说明分组传输之间至少有一个和两个空 TTI。表 11-2 给出了 HSDPA 中各种类型的 UE 及其相关信道容量。值得注意的是，在 HSDPA 操作中，UE 不会报告各个容量值，而只会报告 UE 类型。另外，尽管最多有 15 个代码可以分配给 15 个 HS-PDSCH 信道，但是根据 UE 的信道容量，各个 UE 最多可能接收到 5 个、10 个或 15 个代码。

表 11-2　HSDPA 中各种类型的 UE 及其相关信道容量

UE 类型	代码数	最小 TTI 间间隔	最大传输块尺寸 /bit	软信道比特总数 /bit	可实现的峰值数据速率 /(Mbit/s)
1	5	3	7298	19200	1.2
2	5	3	7298	28800	1.2

（续）

UE类型	代码数	最小TTI间间隔	最大传输块尺寸/bit	软信道比特总数/bit	可实现的峰值数据速率/(Mbit/s)
3	5	2	7298	28800	1.8
4	5	2	7298	38400	1.8
5	5	1	7298	57600	3.6
6	5	1	7298	67200	3.6
7	10	1	14411	115200	7.2
8	10	1	14411	134400	7.2
9	15	1	20251	172800	10.2
10	15	1	27952	172800	14.0
11	5	2	3630	14400	0.9
12	5	1	3630	28800	1.8

11.2 HSDPA信道

HSDPA技术在现有的Release 99版本和Release 4版本信道的基础上又添加了1个额外的传输信道和3个额外的物理信道。附加的传输信道是一个高速下行共享信道（HS-DSCH）；附加的3个物理信道分别是高速物理下行共享信道（HS-PDSCH）、下行高速共享控制信道（HS-SCCH）和上行高速专用物理控制信道（HS-DPCCH）。

11.2.1 HS-DSCH信道

HS-DSCH信道负责承载HSDPA的负载。HS-DSCH信道的新特点包括：传输格式与信道条件的快速自适应、快速调度、考虑优先权和信道质量、短传输时间间隔（长度为动态传输块尺寸）、混合ARQ（包括重发的合并和增量冗余）以及与多达15个物理信道之间的映射。

在HS-DSCH信道中，没有复用的传输信道，在每个TTI内只有一个传输块，这与CCTrCh信道的概念是不同的。传输块的尺寸是动态确定的，总共有254种可能的传输块尺寸可供选择，这种选择根据信道质量自适应实现。传输信道下行TTI的长度始终为2 ms。在Node B中驻留了一个调度程序，该程序负责根据UE反馈回来的信道质量来指导传输过程的调度。传输格式与资源合并（Transport Format and Resource Combination，TFRC）定义了调制类型、传输块尺寸和信道化编码组，该编码组将用来发送HS-DSCH信道。这一点与Release 99版本中的TF/TFCI功能相同。

11.2.2　HS-PDSCH 信道

HS-PDSCH 信道负责承载实际的信息负载。图 2-14 中给出了 HS-DSCH 信道和 HS-PDSCH 信道之间的映射，为方便读者参考，在此重复引用一次，如图 11-5 所示。与 Release 99 版本中的信道相比，HS-PDSCH 信道具有很多特殊的特性。例如，HS-PDSCH 信道中的传输时间间隔长度可以为 2 ms 或者 3 个时隙，比 Release 99 版本中 10 ms、20 ms、40 ms 和 80 ms 长度的 TTI 短很多。

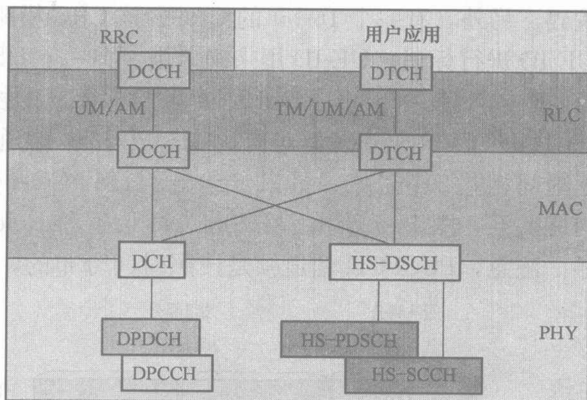


图 11-5　HS-DSCH 信道的映射

HS-PDSCH 信道的扩频因子始终为 16。在 QPSK 调制方案中，每个 TTI 中承载了 960 bit；而在 16-QAM 调制方案中，每个 TTI 内承载了 1920 bit。HS-PDSCH 信道中没有功率控制功能，其功率由 Node B 根据有效 Node B 功率和 UE 反馈回来的信道质量来确定。总共有 15 个 HS-PDSCH 信道可以用来承载 HS-DSCH 信道。因此，有 15 个连续的 OVSF 码可以用于各个 HS-PDSCH 信道。

HS-PDSCH 信道可以是编码复用信道，这就是说，多个 UE 可以同时使用 HS-PDSCH 信道，不同的 UE 使用不同的 OVSF 码。

11.2.3　HS-SCCH 信道

HS-SCCH 信道负责承载物理层控制信息。UTRAN 根据最大的编码复用用户数来分配 HS-SCCH 信道。但是，如果 HS-DSCH 信道没有承载任何数据，那么就不会发送 HS-SCCH 信道。每个蜂窝单元中可能包含多个 HS-SCCH 信道，但是 UE 只需在指定的时间监控最多 4 个 HS-SCCH 信道，换句话说，UE 只需支持最多 4 个 HS-SCCH 信道。

HS-SCCH 信道的每个 TTI 占用了 3 个时隙，同时使用各种 OVSF 码，其扩频因子为 128。但是，OVSF 码不是固定的，在发送时分为两个部分，时隙 1 作为第 1 部分，时隙 2 和时隙 3 作为第 2 部分。其中，第 1 部分负责发送信道化编码和调制编码（如代码树中的起点、代码数量和调制方案（如 QPSK 或 16-QAM））。HS-SCCH 信道在编码时，采用 $R=1/3$ 的卷积编码，并利用 UE ID 进行扰码。在 HS-PDSCH 信道解调之前，必须先完成第 1 部分操作。

第2部分负责发送传输块尺寸和各种HARQ参数。尽管总共有254种传输块尺寸可供使用，但是只有63种可供指定数量的HS-PDSCH信道使用。HARQ参数包括ARQ过程编号、冗余版本和新数据指示。其中，ARQ过程编号用来说明数据属于哪一个ARQ过程；冗余版本信息支持对最早传输过程进行合适的译码和合并；新数据指示用来说明传输过程是与缓冲器中的现有数据进行合并，还是应该刷新缓冲器并填满新的数据。第2部分也是采用$R=1/3$的卷积编码。另外，有一个16 bit的CRC，该CRC横跨了第1部分和第2部分，并用UE ID进行标识。UE ID用来确定是否有一个HS-SCCH信道包含了UE的控制信息，以及哪一个HS-SCCH信道包含了UE的控制信息。

HS-SCCH信道及其对应的HS-PDSCH信道不会同时发送，它们之间的发送时间相差2个时隙。图11-6给出了HS-SCCH信道和HS-PDSCH信道之间的时间关系，图11-7给出了HS-SCCH信道和Release 99版本信道之间的时间关系。注意，PCCPCH信道帧是按照时间分布的，其中每个数据块中包含了5个

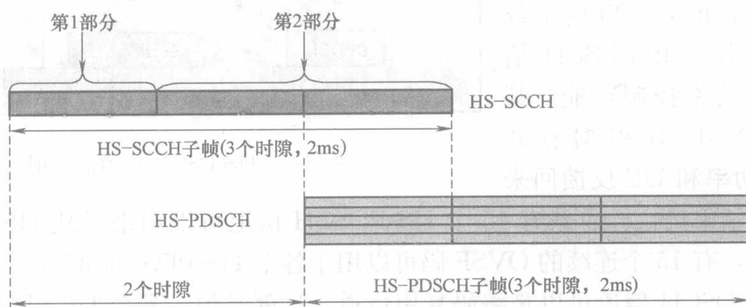


图11-6 HS-SCCH信道和HS-PDSCH信道之间的时间关系

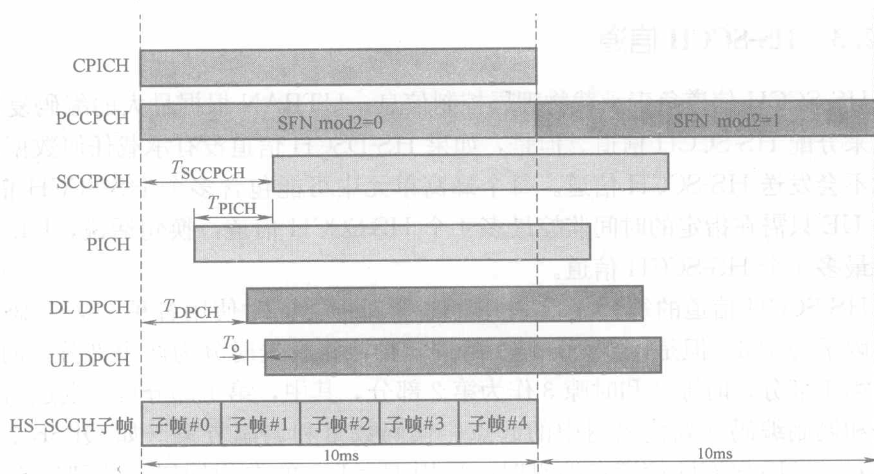


图11-7 HS-SCCH信道和Release 99版本信道之间的时间关系

HS-SCCH 子帧。

11.2.4　HS-DPCCH 信道

HS-DPCCH 信道是 HSDPA 技术中一个新的上行物理信道。HS-DPCCH 信道占用了 3 个时隙，其扩频因子始终为 256，主要分为两个部分，如图 11-8 所示。

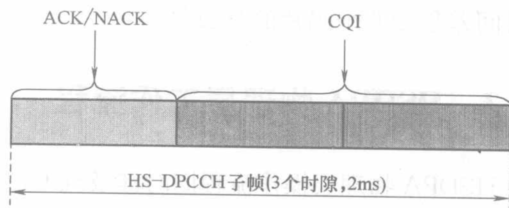


图 11-8　HS-DPCCH 信道的时域结构

HS-DPCCH 信道的第 1 部分主要由一个称为“ACK/NACK 信道”的时隙组成，该部分负责承载 ACK/NACK 信息，ACK/NACK 信息描述了分组译码和合并之后 CRC 校验的结果。ACK/NACK 信息利用（10，1）重复码来实现信道编码。ACK/NACK 的功率与 DPCCH 信道的功率存在偏差，DPCCH 信道具有不同的 ACK/DPCCH 和 NACK/DPCCH 比值。ACK/NACK 的填充系数与下行数据的活动有关。

HS-DPCCH 信道的第 2 部分主要由两个称为“CQI 信道”的时隙组成，该部分负责承载 CQI 信息，用来说明评估的传输块尺寸、调制类型和下行方向上可以同时正确接收到的编码的数量。也就是说，该部分用来说明哪一个 TFRC 是当前可能存在的。CQI 值的定义在参考文献［4］给出了描述。信道质量信息是利用（20，5）码进行编码的，其功率与 DPCCH 信道的功率也存在偏差。CQI 信道的填充系数可以达到 100%，而且可以通过 RRC/NBAP 进行配置。

ACK/NACK 和 CQI 可以在多个子帧中重复出现，它们可以由 RRC/NBAP 信令控制，而且在软切换环境中非常有用。

HS-DPCCH 信道的时域结构与下行 HS-PDSCH 信道有关。如图 11-9 所示，在下行链路中接收到对应的 HS-PDSCH 信道子帧之后的 7.5 个时隙（19200 个

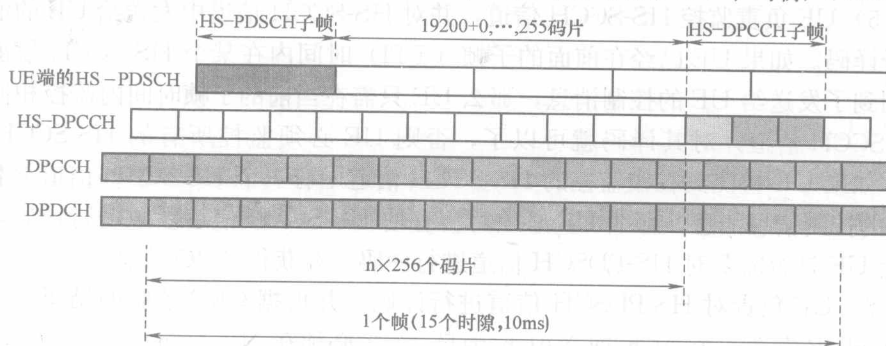


图 11-9　HS-DPCCH 信道的时域结构

码片）+0～255个码片的时间处，才开始接收一个HS-DPCCH信道子帧。换句话说，UE具有一个可变化的处理时间，约为5 ms。在图11-9中还给出了HS-DPCCH信道子帧与上行DPCCH信道和DPDCH信道帧边界之间的相对时间关系。HS-DPCCH信道子帧的起点与DPCCH信道和DPDCH信道时隙边界之间的时间差是256个码片的整数倍。

11.3　HSDPA物理层工作流程

HSDPA物理层操作流程同时涉及到UE和Node B。其中，调度流程和传输格式选择由Node B中的MAC-hs实体负责处理。为了实现HSDPA服务，UE必须配置成HSDPA操作模式。HSDPA物理层工作流程开始时，UE首先开始测量信道质量，并在UE向Node B发送完ACK/NACK消息之后结束。具体来说，工作流程中包含以下几个连续事件：

1）UE负责测量信道质量和报告CQI，并周期性地重复执行这两个操作，CQI的重复因子是由高层指定给UE和Node B的。

2）Node B对每个用户的整体情况进行评估，并在指定TTI内选择服务对象UE。UE选择的依据包括信道质量、缓冲域中的数据量、从上一次服务结束之后流逝的时间、重发状态等等。

3）在指定TTI内选定了服务对象UE之后，Node B就会发送一组HS-SCCH信道。HS-SCCH信道是在相关HS-PDSCH信道发送之前的两个时隙之间发送的。HS-SCCH信道中承载着各种物理层控制信息，包括编码数、调制方案（QPSK或16-QAM）、传输块尺寸和HARQ参数（如ARQ过程编号、冗余版本和新数据指示）。

4）Node B发送一组HS-PDSCH信道，这些HS-PDSCH信道与HS-SCCH信道之间存在重叠。

5）UE负责监控HS-SCCH信道，并对HS-SCCH信道中发送给UE的消息进行译码。如果UE已经在前面的子帧（TTI）时间内在某个HS-SCCH信道中检测到了发送给UE的控制消息，那么UE只需在当前的子帧时间内监控相同的HS-SCCH信道并对其译码就可以了，否则UE必须监控所有的HS-SCCH信道。如果UE检测到在被监控的HS-SCCH信道中有一个HS-SCCH信道承载了UE的控制信息消息，那么UE必须对所有的HS-SCCH信道参数进行译码，以确定UE是否需要对HS-PDSCH信道进行译码，并获得ARQ信息。

6）UE负责对HS-PDSCH信道进行译码，并根据CRC校验的结果，以便向Node B发送一个ACK或NACK消息。UE必须在N_acknack_transmit个连续的HS-DPCCH子帧内反复发送ACK/NACK消息。N_acknack_transmit

是指 ACK 或 NACK 消息的重复因子，它是一个物理层参数，通常由高层指定给 UE 和 Node B。

CQI 报告

3GPP TS 25.214 规范中给出了 CQI 详细的定义，其基本内容如下：在观察时间内，UE 负责报告某个合适的格式化 HS-DSCH 子帧的最高 CQI 值，该子帧的 BLER 不高于 10%。该子帧是在 3 时隙内接收到的，其帧边界正好与第 1 个发送报告 CQI 的时隙相距一个时隙的位置（即中间间隔一个时隙）。其中，"合适的格式化"是指 HS-DSCH 子帧是根据传输块的尺寸、HS-PDSCH 信道编码和调制方案的数量进行格式化的，这些参数的数值与报告的 CQI 值相当或者更低。

UE 不必在 3 个时隙上进行严格平均分配，只需要调度测量过程，这样 CQI 就可以根据上面的定义来确定。因此，UE 支持不同的 CPICH 测量实现过程，但是各个测量实现过程必须得到所有服务提供商都兼容的 CQI 报告。但是，当 UE 测量 CPICH 强度时，测量过程必须在一个 3 时隙的参考时间段内进行，在该时间段结束后的一个时隙之后，CQI 值才会被发送。

报告 CQI 值是 CQI 表中参考 TFRC 的索引，其变化范围为 0～30。参考文献［4］中给出了不同 UE 类型对应的 CQI 表，索引 TFRC 提供了最高的数据速率。如果信道仍然保持在参考时间内的状态下，而且默认的 HS-PDSCH 发射功率仍然保持不变，那么在索引 TFRC 提供的最高速率下 UE 可以保证 BLER 低于 10%。

即使信道处于静止状态下，但是由于相加性白色高斯噪声（Additive White Gaussian Noise，AWGN）的缘故，CQI 值仍然可能会发生变化。在静态信道条件下，UE 必须报告各个 CQI 值，这样如果各个报告 CQI 的中间值被发送端用来选择 TFRC，那么最后产生的分组错误率就不会超过 10%，甚至更低。

11.4 HSDPA 相关参数

HSDPA 相关的参数可以划分为 3 种类型：蜂窝单元参数、UE 参数和固定参数。其中，蜂窝单元参数都在各个蜂窝单元对应的 Node B 中进行配置，这些参数都与无线资源管理功能相关，都是由 NBAP 公共流程（如蜂窝建立流程和蜂窝重新配置流程）或操作维护流程进行配置的；UE 参数都是由 Node B 或者各个 UE 对应的 RNC 指定的，这些 UE 指定的参数通常用于 NBAP、RNSAP 和 RRC 信令消息中；固定参数都由规范进行定义，但是没有进行配置。

11.4.1 蜂窝单元参数

蜂窝单元参数包括 HS-PDSCH FDD 编码参数、HS-SCCH FDD 编码参数、

HS-PDSCH 和 HS-SCCH 扰码参数、HS-PDSCH 和 HS-SCCH 信道总功率参数和 HSDPA 的公共测量参数。

其中，HS-PDSCH FDD 编码参数说明了蜂窝单元的 HS-PDSCH 信道化编码分配方案。在该方案中，一个蜂窝单元可以分配多达 15 种编码，扩频因子为 16。HS-SCCH FDD 编码参数说明了蜂窝单元的 HS-SCCH 信道化编码分配方案。

HS-PDSCH 和 HS-SCCH 扰码参数说明了 HS-DSCH 和 HS-SCCH 信道上支持的扰码类型，HS-PDSCH 和 HS-SCCH 信道必须始终使用相同的扰码，但该扰码可能与相关 DPCH 信道使用的扰码不同。

HS-PDSCH 和 HS-SCCH 信道总功率参数说明了 HS-PDSCH 和 HS-SCCH 信道的最大有效发射功率。如果参数没有为 HS-PDSCH 和 HS-SCCH 信道设置最大发射功率限制，那么在 TTI 内所有公共信道未使用的功率和专用信道控制的功率都可以由 HS-PDSCH 和 HS-SCCH 信道在发射时使用。

HSDPA 的公共测量参数包括 HS-PDSCH 发射或 HS-SCCH 发射中未使用的发射承载功率、HS-DSCH 发射要求的功率和 HS-DSCH 提供的比特速率。

11.4.2 UE 参数

UE 参数都包含在 UE 信息单元（IE）、无线承载信息单元、传输信道信息单元、物理信道信息单元和测量信息单元中。

UE 信息单元中包含了关于与 HS-DSCH 信道相关的 UE 容量、UE 类型和 HS-DSCH 无线网络临时标识，该标识是一个 16 bit 的 UE 标识，用于 CRC 计算与评估。

无线承载 IE 中包含了无线承载映射信息，该信息提供了下行逻辑信道与 HS-DSCH 信道 MAC-d 流之间的映射。另外，无线承载 IE 还可以同时将下行逻辑信道映射到 HS-DSCH 信道和 DCH 信道上。

1. 传输信道信息

传输信道信息[7]中包含了下行传输信道类型、传输格式集、MAC-d 流标识、MAC-d PDU 尺寸索引、MAC-hs 复位指示、HARQ 信息、优先队列信息、MAC-hs 重新排序缓冲器尺寸以及初始容量分配。

其中，下行传输信道类型说明了 HS-DSCH 信道是否包含在下行传输信道中。如果下行传输信道类型 IE 等于 DCH、DCH＋DSCH 或 DCH＋HS-DSCH，那么该 IE 就是强制存在的，否则就不需要该 IE。

传输格式集信息说明了 HS-DSCH 信道的 2 ms 长 TTI 是否必须添加到系统中。通常，传输格式集中包含了很多公共传输信道和专用传输信道中必须强制存在的信息单元，例如 RLC 尺寸、传输块和 TTI 列表的数量以及选择逻辑信道

列表。

MAC-d 流标识是一个索引（变化范围为 0～7），用来标识 MAC-d 流。MAC-d PDU 尺寸索引是一个整数，其变化范围为 0～7。MAC-d PDU 尺寸索引定义了为 HS-DSCH 信道配置的实际 MAC-d PDU 尺寸与 MAC-hs 帧头中包含的尺寸索引之间的映射过程。

MAC-hs 复位指示是一个布尔值逻辑，它用来说明 UE 中的 MAC-hs 是否应该复位。MAC-hs 复位指示是由移位 RNC 来设置的，并通过 RNSAP 信令发送到当前服务的 RNC，然后再发送到 UE 中。如果 MAC-hs 复位指示设置为“TRUE”，那么 MAC-hs 实体就必须进行复位。

HARQ 信息提供了 UE 中即将建立的并行 HARQ 过程的数量。并行 HARQ 过程的最大数量为 8。HARQ 信息还给出了每个 HARQ 过程的存储器尺寸。根据选择存储器的分区情况，每个 HARQ 存储器的尺寸都可以相同，也可以不同。如果选择存储器的分区不太明显，那么 UE 应该在所有 HARQ 过程中都应用每一种尺寸的存储器分区；如果选择存储器的分区很明显，那么每个 HARQ 过程的存储器尺寸都是不同的，并以软信道比特的数量进行标识。

优先队列信息中包含了优先队列 ID、MAC-hs 窗口尺寸、调度优先指示、丢弃定时器和 MAC-hs 保证比特速率。

MAC-hs 重新排序缓冲器尺寸定义了总的缓冲区尺寸，其值等于 UE 容量减去 RLC AM 缓冲区尺寸，单位为 KB（即 1024B）。

HS-DSCH 初始容量分配参数为每个调度优先级中 Iub 接口上的 HS-DSCH 帧协议提供了流控制功能，这些参数包括调度优先指示、最大 MAC-d PDU 尺寸和 HS-DSCH 初始窗口尺寸。

2. 物理信道信息

物理信道信息[7]中包含 HS-SCCH 信道信息、HS-SCCH 信道编码变化指示、HS-SCCH 信道编码变化许可、HS-SCCH 信道功率偏差、上行 DPCH 信道功率控制信息和当前服务 HS-DSCH 信道无线连接指示。

其中，HS-SCCH 信道信息说明了指定给 UE 的 HS-SCCH 信道的 HS-SCCH 信道化编码，Node B 最多可以给 UE 分配 4 个 HS-SCCH 信道；HS-SCCH 信道编码变化指示用来说明是否需要改变 HS-SCCH 信道编码，NBAP 通常利用 HS-SCCH 信道信息来请求 RNC 改变 HS-SCCH 信道编码；HS-SCCH 信道编码变化许可说明了 HS-SCCH 信道编码的修订必须经过 RNC 的许可；HS-SCCH 信道功率偏差说明了 HS-SCCH 信道与一个用户的下行 DPCCH 信道的导频比特之间的功率偏差，其变化范围为（−32～31.75 dB），步长为 0.25 dB。另外，HS-SCCH 信道功率偏差是由当前服务的 RNC 随机指定给 Node B 的。

上行 DPCH 功率控制信息包括 ACK 功率偏差、NACK 功率偏差和 ACK/

NACK 重复因子。ACK 功率偏差参数通常用来计算功率偏差，该功率偏差用来在 HS-DPCCH 信道上发送 ACK 消息。类似地，NACK 功率偏差通常用来计算 NACK 的功率偏差。ACK/NACK 重复因子通常用来说明一个 ACK 或 NACK 上可以发送的连续 HS-DPCCH 子帧的数量。上行 DPCH 功率控制信息通常是由高层发送给 UE 和 Node B 的。

当前服务 HS-DSCH 无线连接指示是一个布尔逻辑参数，由动态集中的每个无线连接提供。当前服务 HS-DSCH 无线连接指示通常用来标识那些提供 HS-DSCH 信道服务的蜂窝单元。

3. 测量信息

测量信息包括测量反馈信息和 HS-DSCH 信道要求的功率/UE 比重。其中，测量反馈信息包括默认功率偏差、信道质量指示反馈周期、CQI 重复因子和 CQI 功率偏差；HS-DSCH 信道要求的功率/UE 比重是指，在指定 UE 中 HS-DSCH 信道和 HS-SCCH 信道的总消耗功率中 HS-DSCH 信道功率所占的百分比。

其中，默认功率偏差用来说明 HS-DPSCH 编码信道相对 P-CPICH 信道的功率偏差，P-CPICH 信道通常被 UE 用来计算信道质量。信道质量指示反馈周期用来说明 CQI 测量过程在上行 HS-DPCCH 信道上发送时的时间长度，其值可以等于 2 ms、4 ms、8 ms、10 ms、20 ms、40 ms、80 ms 或 160 ms。如果信道质量指示反馈周期被设置为 0，那么测量反馈过程就会被完全关闭。

CQI 重复因子用来说明相同 CQI 可以在 HS-DPCCH 信道上的连续子帧中发送给 Node B 的次数，CQI 功率偏差参数用来计算 HS-DPCCH 信道上发送 CQI 时的功率偏差。

11.4.3　固定参数

固定参数包括传输块尺寸表、各个信道化编码集索引之间的映射和实际的 HS-PDSCH 信道分配、时隙格式、扩频因子以及 HS-PDSCH、HS-SCCH 和 HS-DPCCH 信道的编码参数。其中，传输块尺寸是从 HS-SCCH 信道上的传输格式资源指示（Transport Format Resource Indicator，TFRI）值中提取得到的，TFRI 值和传输块尺寸之间的映射关系在参考文献 [6] 中给出了详细定义。

11.5　HSDPA 部署原则

在部署 HSDPA 网络时，有很多因素需要进行周密考虑。其中，最关键的包括部署策略、部署方案选择、用户移动性和对 Release 99 版本 HSDPA 网络的影响。

11.5.1 部署策略

根据不同的数据流量、流量分布和可利用的频谱，可以选择不同的部署策略。有些服务提供商倾向于在现有 Release 99 版本 HSDPA 网络相同的载体基础上部署新的 HSDPA 网络，而其他服务提供商则倾向于使用单独的载体来部署 HSDPA 网络。当数据流量很低时，与 Release 99 版本 HSDPA 网络共享相同的传输载体相对来说是比较划算的。但是，随着高数据吞吐量需求的不断增加，HSDPA 用户需要的功率也在不断提高，因此如果继续共享 Release 99 版本 HSDPA 网络的传输载体，那么其业务性能就会下降。虽然使用单独传输载体的 HSDPA 网络在一开始部署时会浪费一定的频谱资源，但是随着数据流量的不断增加，它不会对 Release 99 版本 HSDPA 网络产生影响。因此，建议在 HSDPA 网络的初始部署阶段，新的 HSDPA 可以与 Release 99 版本 HSDPA 网络共享传输载体；当数据流量不断增加，数据速率需要越来越高的吞吐量时，HSDPA 业务最好采用单独的传输载体。

11.5.2 部署方案选择

新的 HSDPA 网络有两种部署方案可供选择：一种就是按照 1∶1 的比例对现有 Release 99 版本的 HSDPA 网络进行直接覆盖，另一种就是重新构建一个独立的 HSDPA 网络。通常，我们都会选择前者，因为其部署成本比后者低很多。

11.5.3 用户移动性

HSDPA 网络可以采用 16-QAM 调制方案，16-QAM 调制方案提供的吞吐量是 QPSK 调制方案的两倍，但 16-QAM 调制方案比 QPSK 调制方案需要更高的幅度和相位准确度。也就是说，为了使 HSDPA 网络更加有效率，只有当无线链路的射频环境非常好的情况下才会采用 16-QAM 调制方案。因此只有那些 Node B 视距范围内的处于固定地点或者移动速度非常缓慢的用户，才可能实现更高的数据吞吐量。另外，只有最接近 Node B 的位置，才可能实现 HSDPA 网络的最高数据吞吐量。

11.5.4 对 Release 99 版本 HSDPA 网络的影响

对 Release 99 版本 HSDPA 网络的影响可以从业务和技术两个角度来分析。从业务的角度来看，当新的 HSDPA 网络与 Release 99 版本 HSDPA 网络部署在相同的传输载体上时，根据业务的密集度和混合程度，新的 HSDPA 网络或多或少都会对原来的网络产生影响。很多现有的 Release 99 版本 HSDPA 网络都支持电路交换业务，如 12.2 kbit/s 的 AMR 话音业务和 64 kbit/s 的可视电话业务，

这些业务基本上不会受到新 HSDPA 网络的影响。但是，对于分组交换业务来说，当引入新的 HSDPA 网络时必须充分考虑现有业务和新业务，如 Release 99 版本 HSDPA 网络和新的 HSDPA 网络之间的数据流量控制与分布。另外，那些可能影响业务需求的计费方式上的相关变化也必须考虑在内。

从技术的角度来看，在现有 Release 99 版本 HSDPA 网络的相同载体上引入新的 HSDPA 网络必然会增加下行链路的发射功率，从而降低 E_c/I_o。相关研究表明，当引入 HSDPA 流量时，E_c/I_o 会下降 2 dB。E_c/I_o 的恶化会影响 Release 99 版本 HSDPA 网络中蜂窝单元的边缘覆盖率，从而加剧辐射污染区域的扩大，最终将会导致 Release 99 版本 HSDPA 网络的业务性能出现退化。在极端情况下，为了尽量减小新的 HSDPA 网络对 Release 99 版本 HSDPA 网络的影响，必须重新进行射频优化，或者修订原始射频网络的设计。为了避免出现这种问题，我们建议当规划 Release 99 版本 HSDPA 网络时，最好同时也慎重规划好 HSPDA 的数据流量。

另外，HSDPA 技术中不存在下行软切换。为了维持高数据吞吐量，必须尽量减少变换最佳服务蜂窝单元的行为。也就是说，动态集中蜂窝单元的数据必须尽量少，以降低最佳服务蜂窝单元变化的可能性。反过来说，也可以通过重新设计或优化射频网络来减小软切换区域。

有些业务提供商已经在 GSM/GPRS 网络的基础上按照 1∶1 的比例部署了 Release 99 版本的 HSDPA 网络。当引入 HSDPA 网络时，原先的网络必须进行重新优化，以便在目标服务区域中实现期望的高吞吐量和 QoS。

11.6 小结

HSDPA 技术可以提供基于分组的数据业务，在 5 MHz 的带宽内可以实现 10 Mbit/s 的数据速率。在 HSDPA 技术中，不能使用可变长扩频因子和快速功率控制机制，取而代之的是自适应调制与编码、扩展多编码操作和快速重发技术。另外，HSDPA 技术中采用了短传输间隔（2 ms）和快速调度机制。这两种技术使得系统可以在短时间内对各种变化作出响应，并在 Node B 中快速实现调度决策。其他的 HSDPA 技术特征包括简单编码分配、高效的功率分配、无下行软切换和对各种 UE 的支持等。

在所有 Release 99 版本的规范中，传输信道在到达 RNC 之后就结束了。此时，RNC 负责执行各种功能，包括 RLC ARQ、调度、专用信道和公共信道的传输格式选择，而 Node B 不会执行这些功能。在 HSDPA 技术中，HSDPA 媒体接入控制（MAC-hs）实体安装在 Node B 中。这样，Node B 就可以执行更多的功能了，如链路自适应、调度、HARQ 和 HS-DSCH 信道的资源分配。此时，

分组数据重发过程通常由 Node B 控制的，而不是由 RNC 控制。有了 MAC-hs 实体之后，Node B 就可以直接控制重发过程了，从而更快地执行重发过程，并进一步减小重发延迟。

HSDPA 技术在现有的 Release 99 版本和 Release 4 版本信道的基础上又添加了 1 个额外的传输信道和 3 个额外的物理信道。附加的传输信道是一个高速下行共享信道（HS-DSCH），附加的 3 个物理信道分别是高速物理下行共享信道（HS-PDSCH）、下行高速共享控制信道（HS-SCCH）和上行高速专用物理控制信道（HS-DPCCH）。

HS-DSCH 信道负责承载 HSDPA 的负载，并提供很多新的特征。HS-DSCH 信道的新特征包括：传输格式与信道条件的快速自适应、快速调度、考虑优先权和信道质量、短传输时间间隔（长度为动态传输块尺寸）、混合 ARQ（包括重发的合并和增量冗余）以及与多达 15 个物理信道之间的映射。

HS-PDSCH 信道负责承载实际的信息负载。与 Release 99 版本中的信道相比，HS-PDSCH 信道具有很多特殊的特性。例如，HS-PDSCH 信道中的传输时间间隔长度可以为 2 ms 或者 3 个时隙。HS-PDSCH 信道的扩频因子始终为 16。在 QPSK 调制方案中，每个 TTI 中承载了 960 bit；而在 16-QAM 调制方案中，每个 TTI 内承载了 1920 bit。总共有 15 个 HS-PDSCH 信道可以用来承载 HS-DSCH 信道，因此有 15 个连续的 OVSF 码可以用于各个 HS-PDSCH 信道。HS-PDSCH 信道可以是编码复用信道，这就是说，多个 UE 可以同时使用 HS-PDSCH 信道，不同的 UE 使用不同的 OVSF 码。

HS-SCCH 信道负责承载物理层控制信息，UTRAN 根据最大的编码复用用户数来分配 HS-SCCH 信道。但是，如果 HS-DSCH 信道没有承载任何数据，那么就不会发送 HS-SCCH 信道，UE 只需在指定的时间监控最多 4 个 HS-SCCH 信道。

HS-SCCH 信道的每个 TTI 占用了 3 个时隙，同时使用各种 OVSF 码，其扩频因子为 128。但是，OVSF 码不是固定的，在发送时分为两个部分，时隙 1 作为第 1 部分，时隙 2 和时隙 3 作为第 2 部分。其中，第 1 部分负责在对 HS-PDSCH 信道解调之前发送信道化编码和调制编码；第 2 部分负责发送传输块尺寸和各种 HARQ 参数，用于对 HS-PDSCH 信道进行解调。

HS-DPCCH 信道占用了 3 个时隙，其扩频因子始终为 256，主要分为两个部分：第 1 部分主要由一个称为“ACK/NACK 信道”的时隙组成，该部分负责承载 ACK/NACK 信息；第 2 部分主要由两个称为“CQI 信道”的时隙组成，该部分负责承载 CQI 信息，用来说明评估的传输块尺寸、调制类型和下行方向上可以同时正确接收到的编码的数量。

HSDPA 技术的物理层工作流程包含以下步骤：

1）UE负责测量信道质量，并报告CQI。

2）Node B对每个用户的整体情况进行评估，并在指定TTI内选择服务对象UE。

3）Node B在指定TTI内选定了服务对象UE之后，Node B就会发送一组HS-SCCH信道。

4）Node B发送一组HS-PDSCH信道，这些HS-PDSCH信道与HS-SCCH信道之间存在重叠。

5）UE负责监控HS-SCCH信道，并对HS-SCCH信道中发送给UE的参数消息进行译码，以确定是否需要对HS-PDSCH信道进行译码，从而获取ARQ信息。

6）UE负责对HS-PDSCH信道进行译码，并根据CRC检查的结果来向Node B发送一个ACK或NACK消息。

HSDPA相关的参数可以划分为3种类型：蜂窝单元参数、UE参数和固定参数。其中，蜂窝单元参数都在各个蜂窝单元对应的Node B中进行配置，这些参数都与无线资源管理功能相关，都是由NBAP公共流程（如蜂窝建立流程和蜂窝重新配置流程）或操作维护流程进行配置的；UE参数都是由Node B或者各个UE对应的RNC指定的，这些UE指定的参数通常用于NBAP、RNSAP和RRC信令消息中；固定参数都由规范进行定义，但是没有进行配置。

在部署HSDPA网络时，有很多因素需要进行周密考虑。其中，最关键的包括部署策略、部署方案选择、用户移动性和对Release 99版本HSDPA网络的影响。

参考文献

[1] 3GPP TS 25.308，v5.7.0. High Speed Downlink Packet Access（HSDPA；overall description；stage 2），Release 5.

[2] 3GPP TS 25.877，v5.1.0. High Speed Downlink Packet Access：Iub/Iur protocol aspects，Release 5.

[3] 3GPP TS 25.212，v5.4.0. Multiplexing and channel coding（FDD），Release 5.

[4] 3GPP TS 25.214，v5.6.0. Physical layer procedure（FDD），Release 5.

[5] 3GPP TS 25.306，v5.11.0. UE Radio Access Capabilities，Release 5.

[6] 3GPP TS 25.321，v5.7.0. Medium Access Control(MAC)protocol specification，Release 5.

[7] 3GPP TS 25.433，v5.6.0. UTRAN Iub interface NBAP signaling，Release 5.

第 12 章　WCDMA 射频网络规划

WCDMA 射频网络规划的目的是为了得到一个射频方案，使得基站（即 Node B）可以根据该方案在部署时实现预定的覆盖范围和容量。射频规划过程涉及到很多技术因素和非技术因素，如站址勘察、站址选择、站址获取、链路预算计算、天线选择、覆盖预测等。其中，覆盖预测过程非常复杂，因此需要利用射频规划工具来计算覆盖范围。大多数 WCDMA 网络设备提供商和很多工程业务/咨询公司都已经开发出了自己的射频网络规划工具，以方便进行射频网络规划。

本章将主要介绍 WCDMA 射频网络规划方面的内容，而关于具体的射频网络规划工具，本章将不予介绍。本章内容主要包括容量与覆盖、链路预算、负载控制、开销信道功率分配、扰码分配标准和天线选择等，本章的最后部分将对射频规划过程进行归纳总结。值得注意的是，本章讨论的很多概念也适用于CDMA 网络。因此，通过本章的学习，我们可以发现在很多场合都可以看到的“基站”和“移动站”这两个基本术语在 WCDMA 网络和 CDMA 网络中是通用的。另外，“反向链路”和“上行链路”是交替使用的，如同“前向链路”和“下行链路”一样。

12.1　容量及覆盖

容量与覆盖是 WCDMA 射频网络规划和操作过程中的基本要素。如同 CDMA2000 网络，WCDMA 网络也是一个干扰受限系统。WCDMA 网络中，蜂窝单元的容量会受到空中接口中总体干扰的限制，而蜂窝单元的覆盖范围也与链路预算相关。蜂窝单元的容量越高，就可以为越多的 UE 提供服务；而相反地，蜂窝单元的容量越低，可以提供服务的 UE 数量就越少。蜂窝单元中 UE 越多，意味着蜂窝单元的负载和干扰就越大。如果干扰越大的话，将会导致链路预算越来越小，最终将导致蜂窝单元的覆盖范围降低。因此，容量和覆盖范围之间是密切相关的：容量越高，意味着覆盖范围越小；容量越低，意味着覆盖范围越大。因此，在容量和覆盖范围之间存在一个折中平衡的问题。

另外，在一定覆盖范围的条件下，可以通过降低各种业务的服务质量要求来提高蜂窝单元的容量，这说明蜂窝单元的容量限制只是一个软性问题，而不是一个硬性问题。硬性问题是指蜂窝单元的容量是受系统硬件的限制或者 GSM 中可用信道的限制；而软性问题是为蜂窝单元的容量提供了一定的灵活性，这样蜂窝

单元在降低所有UE呼叫质量的代价上，就可以支持更多的UE。

12.2　上行链路分析

上行链路又称为反向链路。在射频规划过程中，链路预算是规模计算过程中的关键因素，其中规模计算过程可以得到蜂窝单元容量和WCDMA系统蜂窝单元的覆盖半径。因此，在预定的覆盖系数和一定的流量密度分布条件下，就可以得到一定精确度的Node B数量。在建立链路预算之前，必须先定义并解释几个技术参数，包括比特速率、处理过程增益、E_b/I_o要求、传输环境、接收端灵敏度、极限容量、由干扰产生的噪声冲激、天线增益和供电线路损耗、衰落储备、快速衰落储备、部件损耗、UE发射功率和Node B接收端噪声系数，接下来将详细介绍这些参数。

12.2.1　比特速率

比特速率是指基于带宽的用户信息速率。在AMR话音业务中，比特速率可以等于12.2 kbit/s或7.95 kbit/s；在数据业务中，有多种比特速率，包括Release 99版本规范中的32 kbit/s、64 kbit/s、128 kbit/s、144 kbit/s、384 kbit/s和2 Mbit/s速率，以及HSDPA技术中的理论速率14.4 Mbit/s。比特速率可以用来根据宽带功率计算信息比特能量，同时也可以用来计算大概的处理过程增益。

12.2.2　流量负载

对于话音和电路交换数据来说，流量负载是以"Erlang"（爱尔兰）为单位进行计量的，1 Erlang相当于一个3600s的呼叫过程。例如，如果用户在电话上连续不断地通话30分钟，那么该用户的流量负载就等于0.5 Erlang。

对于分组交换数据来说，流量负载是以每秒钟的比特数来计量的。电路交换流量和分组交换流量之间的主要区别在于，分组交换流量（如高速分组数据）可以比电路交换流量容忍更高的BLER，因为分组交换数据可以重发。容忍更高的BLER意味着分组交换业务可以实现更低的E_b/I_o要求，因此当流量负载给定时，分组数据的服务质量（QoS）（如平均延迟和平均吞吐量）就可以直接看作是指用户的数量和每个用户的流量。

12.2.3　处理过程增益

在所有的扩频系统中，如WCDMA和CDMA系统，处理过程增益可以降低自身产生的干扰。严格来说，处理过程增益是指码片速率与空中接口符号速率的

比值加上一定误码率条件下的编码增益。但是，在射频工程规划中，过程处理增益通常定义为码片速率与数据速率的比值。例如，对于 12.2 kbit/s 的话音业务来说，处理过程增益为 3840000/12200＝314.75 或 24.98 dB。

12.2.4 E_b/I_o 要求

E_b/I_o 要求是指 Node B 接收端可以在一定的射频环境中，按照一定的 BLER 要求成功解调接收到的信号时的最小 E_b/I_o 值。其中，E_b 是指接收到的比特能量；I_o 是指接收到的噪声密度，包括热噪声和干扰。

在一定的传输环境中，E_b/I_o 要求与流量类型、编码方案的错误防护性能和 Node B 接收端的性能有关。例如，在指定的 Node B 接收端，比特速率为 12.2kbit/s 的话音业务要求的 E_b/I_o 值可以高于 6.5 dB，而数据速率为 64kbit/s 的分组交换业务要求的 E_b/I_o 值可以低于 3.5 dB。E_b/I_o 要求在链路预算和极值容量的计算过程中也有很重要的作用。

12.2.5 传输环境

传输环境会影响 E_b/I_o 要求，从而也会对容量和覆盖范围产生影响。传输环境和 UE 速率特性可以用来描述信道类型，包括 Pedestrian 信道、Vehicular 信道和合成信道。其中，合成信道可以由不同比例的 Pedestrian 信道和 Vehicular 信道构成。例如，一个合成信道可以包含 25%的 AWGN 信道、37%的 Pedestrian 信道（3 km/h）、13%的 Pedestrian 信道（30 km/h）、13%的 Vehicular 信道（30 km/h）和 12%的 Vehicular 信道（100 km/h）。不同类型的信道在不同的数据速率条件下有不同的 E_b/I_o 要求。

通常，在定义好的覆盖区域中，可以使用多种类型的传输信道，则所有类型的传输信道都应该计算无线链路预算。最后的信道链路预算应该是相关信道的预算总和，该预算总和可能来自于区域测量或者业务提供商。

12.2.6 Node B 接收端噪声系数

根据定义，噪声系数等于 $(S_i/N_i)/(S_o/N_o)$，其中 S_i 和 N_i 分别为输入信号和输入噪声，而 S_o 和 N_o 分别为输出信号和输出噪声。接收端噪声系数由接收端的硬件决定，而且接收端噪声系数会影响接收端的性能。噪声系数越小，接收端的灵敏度就越高，从而链路预算就越高。不同类型的接收端可能具有不同的噪声系数。典型例子就是，WCDMA 网络中 Node B 接收端的噪声系数为 3 dB。

12.2.7 接收端灵敏度、极值容量及负载

接收端灵敏度是接收端对信号检测性能的衡量方式，定义为 Node B 输入端

中每个接收分集分支的最小功率要求，单位通常为 dBm。接收端的输入端是指供电线路与接收端的连接处。

接收端灵敏度可以从接收到的 E_b/I_o 精确度中提取到。根据定义，在 Node B 接收端接收到的 E_b/I_o 如式（12-1）所示：

$$E_b/I_o = (S/R)/\{FN_{th} + \alpha(1+\beta)(N-1)S/W\} \tag{12-1}$$

式中，E_b 是指比特能量；I_o 是指热噪声加上干扰的功率谱密度；S 是指接收到的信号强度；R 是指信息速率；F 是指 Node B 接收端的噪声系数；N_{th} 是指热噪声谱密度（dBm/Hz）；α 是指信道活动因子（话音用户活动率）；β 是指其他蜂窝单元与当前服务单元之间的干扰比值；N 是指蜂窝单元内活动用户的数量；W 是指信道带宽。

为了实现一定的BLER，接收到的 E_b/I_o 必须达到一定的门限值，即 $E_b/I_o = d$，称为 E_b/I_o 的要求值。假设处理过程增益为 $G=W/R$，并求解式（12-2）得到 N，结果为

$$N = G/\{\alpha(1+\beta)d\} + 1 - FN_{th}W/\{\alpha(1+\beta)S\} \tag{12-2}$$

极值容量定义为 N 的最大允许值。在式（12-2）中，如果等式右边的第 3 项接近于零的话（S 接近无穷大），那么 N 可以达到最大。换句话说，当接收端灵敏度接近无穷大时，用户数量 N 将接近极值容量。通过将 S 设置成无穷大，就可以得到极值容量 N_{max}，如式（12-3）所示：

$$N_{max} = G/\{\alpha(1+\beta)d\} + 1 \tag{12-3}$$

根据式（12-3），很明显，极值容量是根据处理过程增益、信道活动率、其他蜂窝单元与当前服务蜂窝单元干扰比和要求的 E_b/I_o 值来确定的。例如，假设 G、d、α 和 β 分别等于 314.75（12.2 kbps 的流量）、3.5、0.55 和 0.85（对于 3 个扇区的 Node B），那么极值容量等于 89。

极值容量不是指蜂窝单元实际可以达到的容量，它是 WCDMA 蜂窝单元的最大理论空中接口容量，并对应了无限噪声冲激，该无限噪声冲激相当于 100% 的蜂窝单元负载。蜂窝单元负载定义为极值容量的一定比例，其定义如式(12-4)所示：

$$\mu = N/N_{max} \tag{12-4}$$

在实际的 WCDMA 系统中，根据流量密度，蜂窝单元负载的变化范围通常为 20%～70%。在 WCDMA 射频规划过程中，建议蜂窝单元负载设置为 50% 左右，这样蜂窝单元就拥有“呼吸空间”来应付负载的变化。蜂窝的“呼吸”是指蜂窝单元的覆盖半径会随着负载的增加而收缩，或者随着负载的下降而扩大的现象。

利用式（12-3）和式（12-4），并求解式（12-1）中的 S，则接收端的灵敏度可以根据式（12-5）来计算得到：

$$S = (FN_{th})Rd[1+\alpha(1+\beta)d/G]/(1-\mu) \tag{12-5}$$

在式（12-5）中可以看到，接收端灵敏度是接收端噪声系数、要求的 E_b/I_o、负载、信息速率、信道活动因子和其他蜂窝单元与当前蜂窝单元干扰比值的函数。例如，假设 $F=3$ dB、$d=5.44$ dB、$R=12.2$ kbit/s、$\alpha=0.55$、$\beta=0.85$、$\mu=50\%$，那么接收端灵敏度 S 等于−121.7 dBm。

12.2.8　由干扰产生的噪声冲激

式（12-5）中给出的接收端灵敏度也可以利用极值容量和蜂窝单元负载来表示。也就是说，式（12-5）也可以写成式（12-6）：

$$S = (FN_{th})Rd[N_{max}/(N_{max}-1)]/(1-\mu) \tag{12-6}$$

通常，由于 N_{max} 远比 1 大，因此式（12-6）可以简化为式（12-7）：

$$S = (FN_{th})Rd/(1-\mu) \tag{12-7}$$

根据式（12-7）可以看到，如果信息速率是常数，那么接收端的灵敏度或噪声冲激就是蜂窝单元负载的函数。噪声冲激的单位为 dB，其定义如式（12-8）所示：

$$\text{由于负载产生的噪声冲激} = -10\lg(1-\mu) \tag{12-8}$$

在反向链路预算计算过程中，噪声冲激可以看作是由于负载产生的干扰容限。负载越大，反向链路中所需的干扰容限就越大，链路预算就越小，从而覆盖区域就越小。图 12-1 给出了噪声冲激的示意图，该噪声冲激是蜂窝单元的函数。

在图 12-1 中可以看到，当蜂窝单元负载较低时，噪声冲激就很小；当蜂窝单元负载较高时，噪声冲激就很大。由于噪声冲激降低了链路预算，因此蜂窝单元负载越低，链路预算就越高，而且蜂窝单元的覆盖半径就越大，其覆盖区域也就越大。相反，蜂窝单元的负载越高，链路预算就越低，因此蜂窝单元的覆盖半径就越小，其覆盖区域也就越小。蜂窝半径和蜂窝覆盖区域随着蜂窝单元负载的变化而变化，这种现象称为"蜂窝单元呼吸"。图 12-2 给出了覆盖区域与蜂窝单元之间的关系示意图。其中，横轴表示蜂窝单元的负载，纵轴表示覆盖区域的大小。

在图 12-1 中还可以发现，噪声冲激在高负载情况下的上升速度比低负载情况下的上升速度快很多。如果蜂窝单元的负载超过 75%，那么噪声冲激就会快速上升，以至于增加一点点的负载，就会导致噪声冲激急剧上升，这种现象将导致系统不稳定。因此在 WCDMA 系统中，建议蜂窝单元的负载不要超过 75%。换句话说，如果蜂窝单元的负载低于 20%，就不会产生显著的噪声冲激。但是，在这种情况下，实际系统中的蜂窝单元容量就会变得非常小，因此建议蜂窝单元的负载不要低于 20%。射频规划中的有效蜂窝负载约为 50%，在该负载条件下，蜂窝单元的覆盖区域就等于无负载时郊区环境下理想覆盖范围的 70%。

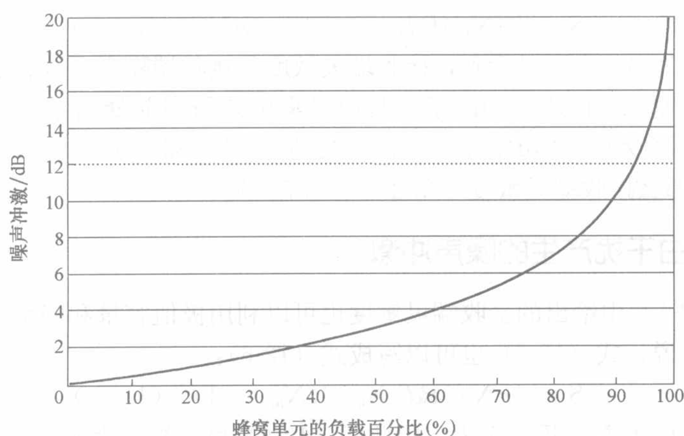


图 12-1　噪声冲激与蜂窝单元负载之间的关系

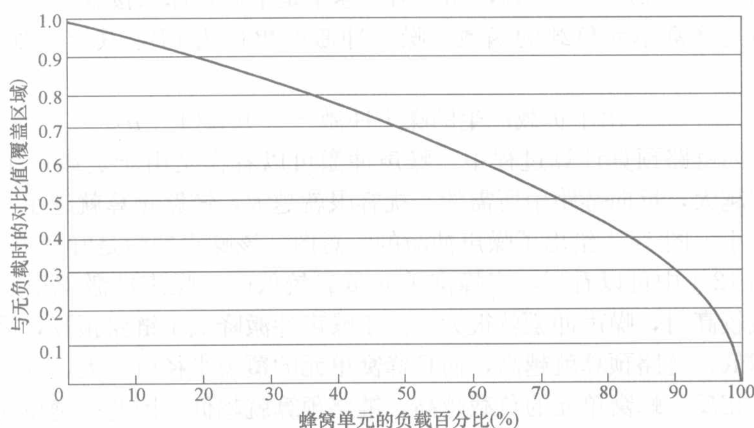


图 12-2　覆盖区域与蜂窝单元负载百分比之间的关系

12.2.9　天线增益、供电线路损耗及人体损耗

在计算链路预算时，必须将天线增益、供电线路损耗及人体损耗考虑在内。在定向天线系统中，计算天线增益时，必须将天线辐射中主波瓣的增益包含在内。对于全向天线来说，各个水平方向上的天线增益是相同的。定向天线的天线增益范围为 14～20 dBi，全向天线的天线增益范围为 11～13 dBi。

单位长度上的供电线路损耗与线路尺寸、线路类型和工作频率有关，在射频规划过程中，通常要求蜂窝单元一侧的总供电线路损耗为 3 dB。

人体损耗通常是对便携式移动终端来说的，只有在话音业务中才会考虑人体损耗，这是因为当一个人在进行主动呼叫或者接听呼叫时，会将移动终端贴近自

己的耳朵。如果移动终端和基站分别处于人体的相反方向（即人体处于移动终端和基站之间）时，链路信号就会产生人体损耗。但是对于数据业务来说，高速数据移动终端类似于一个便携的 PC，因此不存在人体损耗。在射频规划过程中，通常要求人体损耗为 3 dB。

12.2.10 阴影衰减、覆盖率及阴影衰减容限

在射频网络规划中，为了将阴影衰减和覆盖率考虑在内，必须将阴影衰减容限添加到链路预算中。阴影衰减是空中无线路径损耗中的一部分，在测得的信号强度变化范围中，包含了阴影衰减产生的影响。图 12-3 给出了路径损耗的示意。在图 12-3 中，路径损耗是距离的函数，单位为 dB。图中给出的数值都为负值，这是因为该示例中的路径损耗是通过从接收到的信号中提取发射信号而计算得到的。从图 12-3 中的路径数据来看，在任意指定的距离点，路径损耗值的变化都是围绕其平均值上下起伏的，这是因为在射频路径上存在很多人为的障碍物（如建筑）或者自然物体（如植被），这种现象称为“阴影衰减”或“慢衰落”。慢衰落现象会分散接收到的信号强度，例如，1.89 km 距离产生的路径损耗最高可以达到 143 dB，最低也有 116 dB，如图 12-3 所示。

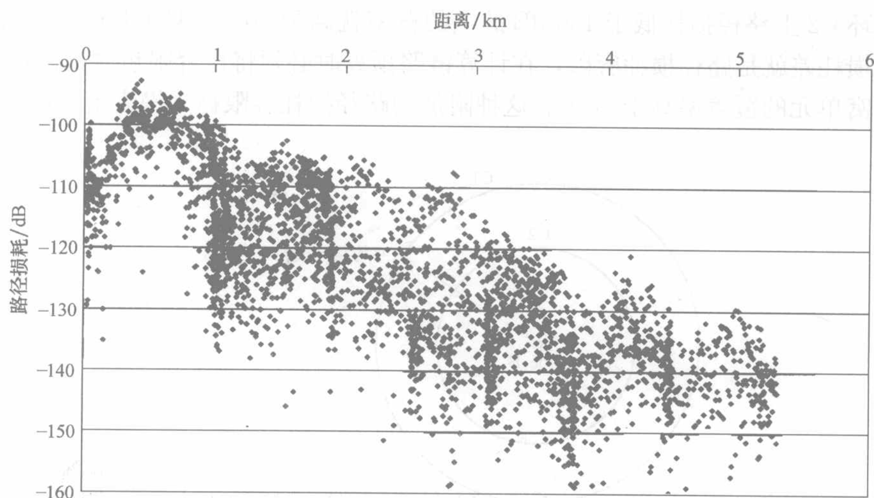


图 12-3 测得的传输损耗与距离的关系

现场测量表明，在任何指定的距离下，路径损耗的变化范围是呈高斯分布的，其标准偏差为 8 dB，而且阴影衰减是一个对数正态衰减。通常，在任何无线路径距离下，该标准偏差都是相同的。蜂窝单元附近测得的标准偏差是 8 dB，是因为蜂窝单元附近通常围绕了很多建筑物；而在远离蜂窝单元的距离下测得的

标准偏差也是 8 dB，是因为存在很多各种各样的无线路径。8 dB 的标准偏差通常用来计算射频规划中户外环境的衰减容限。

覆盖率可以定义为蜂窝单元的区域覆盖率或者蜂窝单元的边缘覆盖率，这两种定义之间存在一对一的对应关系。蜂窝单元的区域覆盖率是指蜂窝单元边界上某一点处的路径损耗与蜂窝单元边缘上的平均路径损耗在时间上的相差百分比(前者比后者小)，或者说是在某一时刻，蜂窝单元边界上的路径损耗与蜂窝单元边缘上平均路径损耗的相差百分比。

类似地，蜂窝单元的边缘覆盖率定义为蜂窝单元边缘（边界）上某一点与平均蜂窝单元边缘路径损耗在时间上的相差百分比。该定义也可以解释为在某一时刻，蜂窝单元边缘上某一点的路径损耗与平均蜂窝单元边缘路径损耗的相差百分比。下面举例来说明蜂窝单元的边缘覆盖率。假设在原始蜂窝单元边缘处的平均路径损耗为 150 dB（见图 12-4 中的外环 C1）则 C1 就是一个标准的覆盖。也就是说，如果边缘上某点的路径损耗低于 150 dB，那么该点就可以看作是处于覆盖范围之内，否则该点就处于覆盖范围之外。由于慢衰落的原因，环 C1 上所有点的路径损耗中有 50%高于 150 dB，有 50%低于 150 dB。这种情况下，环 C1 的蜂窝单元边缘覆盖率就是 50%。这样，如果蜂窝单元的边缘变化到环 C2 处，那么环 C2 上路径损耗低于 150 dB 的点的概率就高于 50%。环 C1 和环 C2 之间路径损耗差就是路径损耗容限，在计算链路预算时必须将该容限包含在内，从而使蜂窝单元的覆盖率高于 50%。这种附加的路径损耗容限称为慢衰落容限。

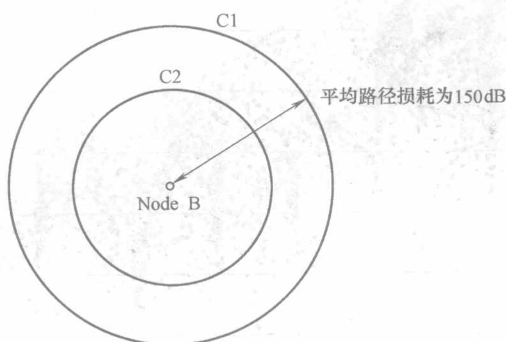


图 12-4　Node B 与蜂窝单元边界之间的平均路径损耗

理想的衰落容限与蜂窝单元的覆盖率和慢衰落标准偏差有关。假设蜂窝单元的覆盖率为 P，慢衰落标准偏差为 σ，那么慢衰落容限 ρ 就可以通过下面的公式来计算：$\rho = z\sigma$，这样 $F(z) = P$。其中，$F(z)$ 是指零平均高斯分布函数的累积分布函数。图 12-5 描述了慢衰落容限与蜂窝单元覆盖率之间的关系，其中假设 $\sigma=8$。例如，如果蜂窝单元覆盖率为 90%，那么慢衰落容限就是 10.32。

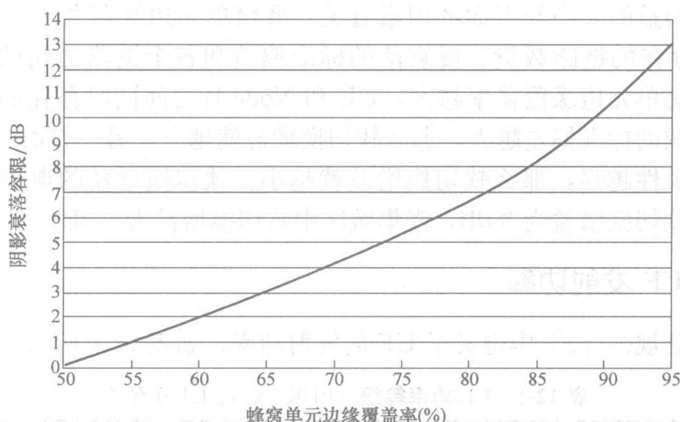


图 12-5 慢衰落容限与蜂窝单元覆盖率

12.2.11 快衰落容限

在快速功率控制功能中，必须存在快衰落容限，这一点对于移动较慢的终端来说尤其重要。当移动终端缓慢移动时（如步行），快速功率控制功能完全可以通过提高移动终端发射功率来克服慢衰落。因此，信道的平均 E_b/I_o 要求就很小。但是，由于功率控制可以消除慢衰落效应，因此 E_b/I_o 要求就会随慢衰落条件的变化而变化，而且移动终端的发射功率也会随着慢衰落条件的变化而变化。这说明在平均 E_b/I_o 基础上的快衰落容限必须添加到链路预算中，以确保蜂窝单元边缘服务的可靠性。这种快衰落容限的典型值为 2～3 dB。

当移动终端快速移动时（如一个可速移动的汽车），平均 E_b/I_o 要求就很高，这样就可以补偿那些功率控制功能较慢的信道中的所有衰落效应。因此，E_b/I_o 要求的变化范围就很小，同时移动终端发射功率的变化也就很小。这样，移动终端发射功率的容限就很小，通常为 0.5～1 dB。对于缓慢移动的终端和高速移动的终端来说，无线网络规划时的整体快衰落容限约为 1.5 dB。

12.2.12 软切换增益

软切换增益是反向链路预算中必须考虑的另一个因素，参考文献 [1] 中给出了软切换增益的计算方法。根据定义，处于软切换过程中的 UE 同时与多个 Node B 通信，也就是说，至少有两个不同的通信链路同时与 UE 存在联系，每个链路对应一个 Node B。如果某一时刻一条链路产生衰减，那么另一条链路可能不会产生衰减。RNC 会选择链路条件最好的链路来与 UE 通信，这样 UE 就不需要提高发射功率来抵抗衰落，并处于非切换状态（即单个链路）。非切换和切换条件下 UE 发射功率之间的差异就是软切换增益。

软切换增益的大小与下面的因素有关：蜂窝单元边缘覆盖率、UE和Node B之间同时存在的链路数量、慢衰落的标准偏差和各个链路之间的相关性。通常，如果蜂窝单元边缘覆盖率越大，UE和Node B之间同时存在的链路数量越多，阴影衰减的标准偏差越大，那么软切换增益就越大。另一方面，如果各个链路之间的相关性越强，那么软切换增益就越小。软切换增益的典型值变化范围为：郊区中软切换增益为3 dB，密集城区中软切换增益为6 dB。

12.2.13 UE发射功率

在3GPP规范［2］中定义了UE的发射功率，如表12-1所示。

表12-1 UE功率等级（引用已经过ETSI允许）

功率等级	理论上的最大输出功率/dBm	容限/dB
1	+33	+1/−3
2	+27	+1/−3
3	+24	+1/−3
4	+21	±2

功率等级4通常用于话音业务，功率等级3通常用于数据业务。功率等级定义了理论上的最大UE输出功率；也就是说，一定带宽中的功率至少是无线接入模式中码片速率的（$1+\gamma$）倍，其中$\gamma=0.22$，γ是参考文献［2］中定义的滚降因子。发射功率的测量时间至少为一个时隙。

12.2.14 穿透损耗

在户外覆盖的链路预算中通常没有将穿透损耗考虑在内，但是室内覆盖的链路预算中必须将穿透损耗作为容限考虑在内。穿透损耗与建筑物的材料和建筑物的结构有关，而且穿透损耗也是无线频率的函数。通常，频率越高，穿透损耗就越低。在射频网络规划中，穿透损耗必须依次沿着各个城市进行测量，因为各个城市的建筑物结构和材料各不相同。典型地，在密集城区中，穿透损耗的变化范围为20～30 dB；在稀疏城区中，穿透损耗的变化范围为15～25dB；在郊区中，穿透损耗的变化范围为10～20 dB；在偏远的郊区中，穿透损耗低于10 dB。

12.2.15 上行链路预算

根据定义，链路预算是指移动终端和基站之间的最大允许路径损耗。从上行链路的角度来看，上行链路预算是计算蜂窝单元覆盖半径的基础。上行链路预算由移动终端发射功率、人体损耗、移动终端天线增益、移动终端线路损耗、基站天线增益、基站线路损耗、基站接收端灵敏度、阴影衰减容限、快速衰减容限和

软切换增益决定，所有这些因素在之前的内容中都已经讨论过了。将所有这些因素包括在内，上行链路预算就可以按照式（12-9）来计算：

$$L_{path} = P_{tz,mobile} + G_{mobile} - L_{cable_mobile} - L_{body} + G_{BTS} - L_{cable_BTS} - L_{fade_margin} - L_{fast_fade_margin} + G_{handover} - S_{BTS} \tag{12-9}$$

式中，$P_{tz,mobile}$是指移动终端的发射功率；G_{mobile}是指移动终端的天线增益；L_{cable_mobile}是指移动终端的线路损耗；L_{body}是指人体损耗；G_{BTS}是指基站天线增益；L_{cable_BTS}是指基站线路损耗；L_{fade_margin}是指阴影衰减容限；$L_{fast_fade_margin}$是指快速衰减容限；$G_{handover}$是指软切换增益；S_{BTS}是指基站接收端灵敏度。

表 12-2 给出了各种数据速率下合成信道的反向链路预算。在该示例中，所有要求的 E_b/I_o 值都是假设的，但是它们与实际应用的平均值非常接近。值得注意的是，在实际的射频网络设计中，基站设备提供商应该提供 E_b/I_o 值。该示例中只计算了户外覆盖环境中（街道）的反相链路预算。直接从户外链路预算中减去穿透损耗，就可以得到计算室外覆盖环境下的反相链路预算。在某些环境中，可以利用塔顶放大器来提高反向链路质量。反向链路上的塔顶放大器效应可以消除供电线路损耗，并可以利用子系统（由塔顶放大器、线路和基站接收器组成）的高效噪声系数来替代基站噪声系数。

表 12-2　WCDMA 反向链路预算示例

项　目	单位	12.2 kbit/s 话音业务	64 kbit/s PS	128 kbit/s PS	备　注
(1) 比特速率 R	bit/s	12200	64000	128000	
(2) UE 有效发射功率	dBm	21	21	21	功率等级为 4 的 UE
(3) UE 天线增益	dBi	0	0	0	包含在 (2) 中
(4) 人体损耗	dB	3	0	0	
(5) UE 发射 EIRP	dBm	18	21	21	(2) ~ (4)
(6) Node B 接收天线增益	dBi	17	17	17	—
(7) 接收线路和连接器损耗	dB	4	4	4	—
(8) 接收端噪声系数	dB	3	3	3	—
(9) 热噪声密度	dBm/Hz	−174	−174	−174	kT
(10) E_b/I_o 要求	dB	5.45	2.25	1.80	典型值
(11) 极值容量 N_{max}	dB	89	36	20	式 (12-3)，其中 $\alpha=0.55$，$\beta=0.85$
(12) 蜂窝负载 N/N_{max}	%	50	50	50	—
(13) 噪声冲激	dB	3.01	3.01	3.01	$-10\lg(1-N/N_{max})$
(14) 比特速率	dB	40.86	40.86	51.07	$10\lg(18)$

（续）

项　目	单位	12.2 kbit/s 话音业务	64 kbit/s PS	128 kbit/s PS	备　注
(15) 接收端灵敏度	dBm	−123.6	−118.1	−115.2	(8)+(9)+(10)+(13)+(14)+$10\lg[N_{max}/N_{max}-1]$
(16) 阴影衰减容限	dB	10.3	10.3	10.3	假设90%的边缘覆盖率
(17) 快速衰减容限	dB	1.5	1.5	1.5	—
(18) 软切换增益	dB	4	4	4	—
(19) 户外最大允许路径损耗	dB	146.8	144.3	141.4	(5)+(6)−(7)−(15)−(16)−(17)+(18)

12.3 传输模型

一旦链路预算（最大允许路径损耗）确定之后，就可以通过一个传输模型来计算蜂窝覆盖半径。在射频网络规划中，有很多传输模型可供使用，包括 Okumura 模型[3]、Hata 模型[4]、COST 231 模型[5]和 Lee 模型[6]。在接下来的内容中，将详细介绍这些模型。

12.3.1 Okumura 模型

Okumura 模型[3]是郊区信号预测中应用最广泛的模型之一。Okumura 模型是一个实验模型，应用频率范围为150～1920 MHz，应用距离为1～100 km，基站天线的高度为30～1000 m。Okumura 模型完全以测得的数据为基础，其单位为dB，如式（12-10）所示：

$$L = \mathrm{FSPL} + A(f,r) - G(h_b) - G(h_m) - G_{area} \tag{12-10}$$

式中，FSPL 是指自由空间路径损耗；$A(f,r)$ 是指相对自由空间的中等衰减；$G(h_b)$ 是指基站天线高度增益因子；$G(h_m)$ 是指移动终端天线高度增益因子；G_{area} 是指由于射频环境类型产生的增益；f 是指频率；r 是指距离；h_b 是指基站天线高度；h_m 是指移动终端的天线高度。式（12-10）右边的几项内容如下所示：

$$\mathrm{FSPL} = 20\lg(4\pi rf/c) \tag{12-11}$$

式中，c 是指光速。

$$G(h_b) = 20\lg(h_b/200),\ 30\ \mathrm{m} < h_b < 1000\ \mathrm{m} \tag{12-12}$$

$$G(h_m) = \begin{cases} 10\lg(h_m/3) & (h_b \leqslant 3\ \mathrm{m}) \\ 20\lg(h_m/3) & (3\ \mathrm{m} < h_b < 10\ \mathrm{m}) \end{cases} \tag{12-13}$$

G_{area} 与频率和射频环境有关。在2 GHz 频率下，空旷区域的 G_{area} 约为33 dB，准空旷区域的 G_{area} 约为27 dB，偏远区域的 G_{area} 约为13 dB。在2 GHz 频率下，

1 km距离处的 G_{area} 约为 22 dB，10 km 距离处的 G_{area} 约为 33 dB。

12.3.2　Hata 模型

Masaharu Hata 在 1980 年利用现场强度曲线中的信息建立了 Hata 模型，该现场强度曲线是由 Okumura 得到的[3]。Hata 模型是一组路径损耗的经验公式。在郊区，Hata 模型路径损耗由式（12-14）给出：

$$L_{urban} = 69.55 + 26.16\lg f - 12.82\lg h_b - a(h_m) + [44.9 - 6.55\lg(h_b)]\lg r \tag{12-14}$$

式中，r 是指基站与移动终端之间的距离，单位为 km；f 是指频率，单位为 MHz；h_b 和 h_m 的单位为 m；$a(h_m)$ 是指高效天线高度的修正因子。

中型城市的 $a(h_m)$ 由下面的公式给出：

$$a(h_m) = (1.1\lg f - 0.7)h_m - (1.56\lg f - 0.8)\ \text{dB}$$

大城市的 $a(h_m)$ 由下式给出：

$$a(h_m) = 8.29[\lg(1.5h_m)]^2 - 1.1\ \text{dB},\ f \leqslant 300\ \text{MHz}$$

更大城市的 $a(h_m)$ 由下式给出：

$$a(h_m) = 3.2[\lg(11.75h_m)]^2 - 4.97\ \text{dB},\ f > 300\ \text{MHz}$$

在郊区，Hata 模型路径损耗由式（12-15）给出：

$$L_{subrural} = L_{urban} - 2[\lg(f/28)]^2 - 5.4 \tag{12-15}$$

在空旷的偏远区域，Hata 模型路径损耗由式（12-16）给出：

$$L_{rural} = L_{urban} - 4.78[\lg(f)]^2 + 18.33(\lg f) - 40.94 \tag{12-16}$$

Hata 模型必须满足以下条件时才有效：150 MHz$<f<$1500MHz，$r<$20 km，30 m$<h_b<$200 m，1 m$<h_m<$10 m。

12.3.3　COST 231-Hata 模型

欧洲的科学与技术研究合作项目已经在 PCS 频段内对传输过程进行了研究，该研究最后得到了两种传输模型：COST 231-Hata 模型和 COST 231-Walfish-Ikegami 模型。其中，COST 231-Hata 模型将 Hata 模型扩展到了 100～2000 MHz 频率上，因此 COST 231-Hata 模型也称为扩展 Hata 模型，如式（12-17）所示：

$$L = 46.3 + 33.9\lg f - 13.82\lg h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55\lg h_b)\lg r + C \tag{12-17}$$

式中，常量 C 是一个形态学函数。例如，在中型城市和郊区中，常量 C 的变化范围为−6～0；在大城市中心区域，常量 C 的变化范围为 0～3。该模型必须满足以下条件时才有效：1500 MHz$<f<$2000 MHz，1 km$<r<$20 km，30 m$<h_b<$200 m，1 m$<h_m<$10 m。

尽管Hata模型和COST 231-Hata模型要求基站天线的高度必须高于30 m，但是如果基站周围的建筑物的高度低于基站的高度，那么当基站天线高度低于30 m时，也仍然可以使用这两个模型。

COST 231-Walfish-Ikegami模型适用于下面的情形中，即基站天线的高度高于楼顶或者低于楼顶。该模型会将楼顶高度、街道宽度和街道方位（相对于无线路径）考虑在内。只有当基站天线远高于楼顶时，该模型才会得到最佳效果；当基站天线低于楼顶时，该模型就无法很好地工作，因为该模型没有考虑到街道拐角处的峡谷效应和衍射情况。

12.3.4 Lee模型

Lee模型是一个移动的点对点模型。在一般情况下，Lee模型如式（12-18）所示，其单位为dB：

$$L = K + g\lg r - 20\lg h_b - 10\lg h_m - G_{BTS} - G_m \tag{12-18}$$

式中，G_{BTS}和G_m分别是指基站天线增益和移动终端天线增益，K和g的值会随不同射频条件的变化而发生变化。

12.4 下行链路分析

下行链路分析与上行链路分析在很多方面存在区别。首先，下行链路分析的目的不是为了确定覆盖区域，而是为确保基站具有足够的功率来支持上行链路描述的覆盖区域中的所有用户；其次，在下行链路中，基站功率是被多个用户共享的，而在上行链路中，基站的发射功率是指定给某个移动终端专用的；再者，在下行链路中，其他蜂窝单元对移动终端的干扰比上行链路中其他蜂窝单元对服务蜂窝单元的干扰大，因为蜂窝单元边缘处的移动基站可能会面临相邻基站的强干扰；而且，下行链路分析没有使用E_b/I_o要求，而是使用部分的下行功率E_c/I_{or}。E_c/I_{or}是移动终端的几何学函数，这里是指动态集中总的蜂窝单元接收功率与接收端噪声和动态集之外其他所有蜂窝单元总接收功率的和的比值。

在下行链路中，很难（也不切实际）给出一个具体的链路预算，因为E_b/I_o要求对射频条件和移动终端的速度非常敏感。通常，下行链路分析是通过仿真来实现的。在仿真过程中，假设一组预定数量的移动终端随机地分布在上行链路预算确定的蜂窝单元覆盖区域中，然后计算可以成功获得系统服务的移动基站数量所占的百分比。仿真是一个反复迭代的过程。在该过程中，基站功率在每次迭代过程中都会被修订一次，直到基站功率达到稳定状态。一组预定数量的移动基站相当于一个预定的容量，因此下行链路分析过程中实质上同时考虑了容量和覆盖区域。如果基站没有足够的功率来支持覆盖区域中的所有移动终端，那将会导致

基站的容量下降，或者上行链路预算中确定的覆盖半径减小，这样才能支持上面所说的全部移动终端。仿真过程得到的结果应该在每个蜂窝单元指定的流量条件下，为指定的 UMTS 业务提供最大的蜂窝覆盖半径。

由于下行链路分析过程非常复杂，所以很多无线设备提供商和业务提供商通常都会采用尺寸计算工具来评估预定流量下预定覆盖边界内大概的蜂窝单元数量。关于尺寸计算工具的内容，不属于本书介绍的范畴。

12.5　开销信道功率分配

下行开销信道的功率分配也是射频网络规划中的一项重要内容。下行开销信道包括 CPICH 信道、SCCPCH 信道、PCCPCH 信道、P-SCH 信道、S-SCH 信道和 PICH 信道。导频功率分配会直接影响导频信道的覆盖率。通常，导频功率约为基站发射功率的 10%，该比例值是在假设 E_c/I_o 要求为 −15 dB 而其他蜂窝单元与服务蜂窝单元之间的干扰比为 4 dB 的基础上得到的。根据定义，E_c/I_o 由式（12-19）给出

$$E_c/I_o = [\eta P_{BTS}L(r)/W](N_{th} + I_{oc} + I_{sc}) \tag{12-19}$$

式中，E_c 是指每个码片的能量；I_o 是指总的干扰密度；P_{BTS} 是指基站发射功率；W 是指载频宽度；$L(r)$ 是指传输损耗；N_{th} 是指热密度；I_{oc} 是指其他蜂窝单元干扰密度；I_{sc} 是指相同蜂窝单元的干扰密度。求解式（12-20）就可以得到 η

$$\eta = (E_c/I_o)[N_{th}W + I_{sc}W(1 + I_{oc}/I_{sc})]/[P_{BTS}L(r)] \tag{12-20}$$

相同蜂窝单元的干扰密度由式（12-21）给出：

$$I_{sc}W = (1 - \eta)P_{BTS}L(r) \tag{12-21}$$

将式（12-21）代入式（12-20），并再次求解 η，就可以得到导频功率比例值，如式（12-22）所示：

$$\eta = (E_c/I_o)[N_{th}W/P_{BTS}L(r) + (1 + I_{oc}/I_{sc})]/[1 + (E_c/I_o)(1 + I_{oc}/I_{sc})] \tag{12-22}$$

从 12-2 中可以看到，速率为 12.2 kbit/s 的话音业务的链路预算比任何分组交换数据速率的链路预算都大。12.2 kbit/s 话音业务的传输损耗约为 −132.8 dB（基站天线增益减去人体损耗再减去反向链路预算），假设基站发射功率为 43 dBm，那么 $P_{BTS}L(r)$ 就等于 43 − 132.8 = − 89.8 dBm，载频中的热噪声为 $N_{th}W$ = − 108.2 dBm。很明显，$N_{th}W \ll P_{BTS}L(r)$。因此，式（12-22）可以简化为式（12-23）：

$$\eta = (E_c/I_o)(1 + I_{oc}/I_{sc})/[1 + (E_c/I_o)(1 + I_{oc}/I_{sc})] \tag{12-23}$$

假设 E_c/I_o = −15 dB 并作为导频覆盖的标准，I_{oc}/I_{sc} = 4 dB，那么根据式（12-23），导频功率比例就是 10%，该值适用于所有数据速率和各种业务。

其他开销信道的功率是根据导频功率来设定的。在实际中，建议其他开销信道的功率设置分别如下：

1）P-SCH信道：相对于导频功率为−3 dB，其中包含10%的填充系数；

2）S-SCH信道：相对于导频功率为−3 dB，其中包含10%的填充系数；

3）PCCPCH信道：相对于导频功率为−3 dB，其中包含90%的填充系数和10%的BLER；

4）SCCPCH信道：相对于导频功率为4 dB，其中包含20%的填充系数（10%的FACH信道和10%的PCH信道）和10%的BLER；

5）PICH信道：相对于导频功率为−6 dB，其中包含95%的填充系数和5%的BLER；

6）AICH信道：相对于导频功率为−5 dB，其中包含1%的填充系数；

假设基站发射功率为43 dBm，开销信道的功率设定如表12-3所示。

表12-3 开销信道的功率设定

信道	相对于导频信道的功率/dB	绝对功率/ dBm	填充系数	绝对功率/W
CPICH	—	33	100%	2.000
P-SCH	−3	30	10%	0.100
S-SCH	−5	28	10%	0.063
PCCPCH	−3	30	90%	0.900
PICH	−6	27	96%	0.480
AICH	−5	28	1%	0.006
SCCPCH（FACH）	4	37	10%	0.500
SCCPCH（PCH）	4	37	10%	0.500
开销信道的总功率	—	—	—	4.549

从表12-3中可以发现，开销信道的总功率为4.55 W或者是基站发射功率的22.75%。

12.6 扰码规划

扰码规划的目标是为蜂窝单元指定扰码，以便UE在初始捕获流程中可以正确识别蜂窝单元扰码。为了实现这个目标，相邻蜂窝单元的各个扰码之间必须具有很低的互相关性。在第7章中我们描述过，任意两个扰码之间的互相关性是非常低的，与它们之间的时间偏差无关。因此，我们有理由相信扰码之间是接近正交的，从而对扰码的规划不用提出很高的要求。

在第7章中我们讨论过，有512种主扰码，这些主扰码划分为64个扰码组，

每个扰码组中包含 8 个主扰码。在 WCDMA 网络中，可以通过很多方式来为相邻的蜂窝单元指定扰码。指定扰码的方法会影响到处理过程要求和 UE 端的同步性能[7]。例如，对于一个指定的蜂窝单元，如果其相邻蜂窝单元的数量少于 8 个，那么该蜂窝单元及其相邻的蜂窝单元就可以使用同一扰码组中的不同主扰码，也可以使用不同扰码组中的主扰码，即其中每个主扰码来自于不同的扰码组。前一种方法将初始捕获流程中的处理负担从帧同步过程和码组识别过程中转移到扰码识别过程中，而后一种方法正好实现了与前一种方法相反的过程。通常，好的扰码规划方法会在 UE 端的处理负担和同步时间之间取一个折中平衡的点来实现扰码分配。

12.6.1　扰码规划示例

假设现有一组包含 19 个 Node B 的节点簇，其中每个 Node B 中包含 3 个蜂窝单元（扇区），所需要的扰码数为 57 种。这 57 种扰码可能来自 57 组不同的扰码组，其中每一个扰码组提供一种扰码。由于各个扰码之间是相互正交的关系，所以蜂窝单元的 57 种扰码组分配方案是任意的，惟一的要求是一旦某个节点簇的扰码分配样式确定之后，其他节点簇也将采用相同的分配样式。这种要求可以保证不同节点簇中的相同扰码组不会重叠在一起，从而可以减小物理位置相近的蜂窝单元使用相同扰码的可能性。图 12-6 给出了一个节点簇中 57 种扰码的分配方案，在该示例中，各个蜂窝单元分布在一个六边形上，六边形围绕的中央是 Node B。

从图 12-6 中可以看出，扰码组重复使用的距离相当于 7 层蜂窝单元。这个距离已经足够远，可以提供路径损耗来消除干扰，并避免在实际网络中（假设平坦地形）出现蜂窝单元识别模糊。对于陡峭的地形来说，扰码重复使用的距离要求可能更加严格，具体使用方案与各个地形有关。

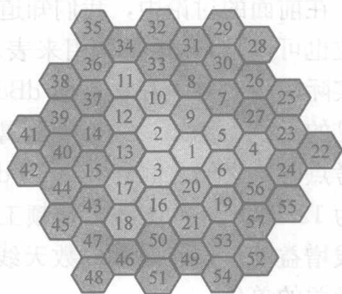


图 12-6　扰码组分配方案示例

事实上，上面示例中的下行链路扰码组分配方案非常直接而且容易实现。在该示例中，57 个蜂窝单元中的 57 种不同扰码组分配可能是随机的，其中相邻节点簇的分配样式是相同的。值得注意的是，在实际应用中，覆盖区域不是完全呈六边形分布的；而且，在有些情况中，Node B 可能包含 3 个或更多个蜂窝单元，这样同时会减小扰码重复使用的距离。另外，网络操作者也可以为分级蜂窝单元结构或每个 Node B 中的有效蜂窝单元数量预留更多的扰码组。所有这些因素在扰码规划中都必须考虑在内。

12.7　基站天线

基站天线对于无线网络的性能非常重要。根据射频环境和覆盖目标，射频工程师应该定义使用天线的各种要求，这些要求必须明确天线的电气规范和机械规范。这些规范包括天线增益、水平波束宽度、垂直波束宽度、频率范围、输入阻抗、额定功率、电压驻波比（Voltage Standing Wave Ratio，VSWR）、极化特性、前后（Front-to-back）增益比、天线下行倾斜度、物理尺寸、重量、风力载荷、连接器类型、安装附件等。

12.7.1　天线增益及波束宽度

UMTS系统通常运行在2 GHz的频率范围，在该频率范围下的天线增益比850 MHz下的天线增益高（物理尺寸相当时）。由于2 GHz频率下的传输损耗比850 MHz频率下的传输损耗高，因此在WCDMA网络中建议使用高增益天线。这样不仅可以补偿部分传输损耗，而且还可以为小型和中型建筑物提供部分室内覆盖。天线的选择与地理形态有关。在城市中，选取增益为15～19.5 dBi、水平波束宽度为65°～90°、垂直波束宽度为6°～12°的天线；而在城市中那些容量要求不高的区域，可以使用增益为9～12 dBi的全向天线；而在高速公路上，通常使用水平波束宽度为30°～60°、增益为15～18 dBi的天线。

在前面的讨论中，我们知道dBi是指天线增益的单位。事实上，天线增益的单位也可以是dBd。dBi用来表示全向天线的天线增益，它只是一个理论参考，在实际应用中并不存在；而dBd用来表示偶极天线的天线增益，偶极天线是最常见的天线。例如，一小段金属线就可以作为偶极天线。在使用dBi和dBd作为参考点时，它们之间存在2.15 dB的差异。例如，增益为15 dBi的天线相当于增益为12.85 dBd的天线。射频工程师在链路预算的计算过程中通常使用dBi作为天线增益的单位，而大多数天线制造商则在其天线规范中通常使用dBd作为天线增益的单位。

12.7.2　天线下行倾斜度

在无线网络中，有两个常见的问题，即覆盖空洞和其他蜂窝单元的信道间干扰，这些问题通常是通过下行倾斜天线来解决的。但是，当对天线进行下行倾斜时，天线的覆盖范围也会缩减。

天线下行倾斜有两种类型：电气下行倾斜和机械下行倾斜。其中，有些情形下使用电气下行倾斜，而有些情形下使用机械下行倾斜。当然，也有很多情形下使用了合并的电气下行倾斜和机械下行倾斜。电气下行倾斜和机械下行倾斜之间

的区别在于，电气下行倾斜不会改变天线的辐射方向，而机械下行倾斜则会改变天线的辐射方向。机械下行倾斜会使主瓣的覆盖范围缩小，但不会导致旁瓣的覆盖范围缩小。因此，天线的覆盖区域就会从圆形变成椭圆形。这种变化有时会扩大蜂窝单元之间的重叠区域，从而导致抗干扰性能出现下降。电气下行倾斜会导致在所有方向上的覆盖区域都出现缩减。因此，为了降低蜂窝单元之间的干扰，在城区范围内部署天线时，更倾向于采用电气下行倾斜。

12.7.3　旁瓣压缩及空白填充

除了下行倾斜之外，还有两种其他的技术可以用来提高天线的辐射方向性能，即上旁瓣压缩和空白填充。在部署一个典型的天线时，其上旁瓣可能指向相邻的蜂窝单元，特别是当使用机械下行倾斜时尤其如此。这种现象可能会导致信道间干扰和相邻信道间干扰。目前，还没有具体的关于上旁瓣压缩的行业标准。但是，按照一般惯例，如果天线的第 1 个上旁瓣比主瓣低 15 dB，那么该天线就可以认为是一个上旁瓣压缩天线。

空白填充是另一种可以用来提升天线性能的技术。在典型的天线中，在主瓣和第 1 个旁瓣之间存在空白区域，而各个旁瓣之间也存在空白区域。这些空白区域会导致蜂窝单元中的辐射样式出现不一致，从而导致蜂窝单元的覆盖区域产生不连续性，同时影响网络的性能。空白填充可以消除天线中的空白区域。另外，空白填充目前也还没有具体的行业标准。但是如果天线的空白区域比主瓣低 18 dB，那么该天线就可以认为是一个空白填充天线。

12.7.4　双极天线

双极天线是指在一个天线结构中合并了两个天线，这两个天线的极性是相互正交的。接收分集增益可以通过极化分集来实现，从而取代了空间分集。目前，市场上主要包含两种类型的双极天线：45°斜度极化天线和垂直/水平极化天线。在 45°斜度极化天线中，其中一个天线的极化方向相对垂直方向呈 45°，另一个天线的极化方向相对垂直方向呈 −45°。现场测试表明，在 45°斜度的极化天线中，前向链路预算会下降 2 dB。而在垂直/水平极化天线中，其中一个天线的极化方向是垂直的，而另一个天线的极化方向是水平的。其中，垂直极化天线用于发射，而水平极化天线用于接收。

双极天线通常用于密集的城市区域和存在多路径反射或衍射的地方，在密集的城市中天线的安装空间非常有限。斜度极化天线使用最多，而垂直/水平极化天线的使用相对较少，因为其接收分集性能较差。

12.7.5 电压驻波比及前后增益比

电压驻波比（VSWR）是一个使用很频繁的参数，用来确定天线中各个组成部分之间的兼容性。根据定义，VSWR由式（12-24）给出：

$$\mathrm{VSWR}=(V_{+}+V_{-})(V_{+}-V_{-}) \tag{12-24}$$

式中，V_{+}是指天线的入射信号电压；V_{-}是指从天线反射回来的信号电压。在很多国家，基站天线的VSWR规范为VSWR≤1.5。现场研究表明，如果VSWR低于1.35，将会使系统性能进一步提升。在WCDMA系统中，建议天线的理想VSWR低于1.4。

前后增益比用来描述天线的后向辐射能量，其定义为主瓣增益和后瓣增益的比值。前后增益比越大，越能防止相邻蜂窝单元之间由于后向辐射而产生干扰。前后增益比的最低要求为22 dB。目前，大多数天线的前后增益比为25 dB或者更高。

12.7.6 天线的机械性能规范

在选择天线时，充分必须考虑天线的各种机械参数，包括物理尺寸、重量、风力负载、温度范围和安装附件等。这些参数非常重要，因为它们会影响天线的安装工程和天线及线路系统的性能。

12.8 WCDMA射频规划流程

WCDMA系统中射频规划流程包含很多步骤。在射频规划之前，首先必须对网络的目标有一个彻底的认识，包括使用的频段、网络的容量和覆盖边界。通常，频段是拍卖或分配给指定技术的服务提供商（如UMTS、CDMA、TD-SCDMA）的。关于网络容量和覆盖边界的信息应该可以从服务提供商处得知，或者从一些前提条件中推断出来。与网络容量相关的因素包括：用户目标数量、每个用户的话务量（Erlang）、流量分布、快速率、数据流量模型、各种速率下的用户分布情况（如64 kbit/s、128 kbit/s和384 kbit/s等）。与覆盖边界相关的因素包括覆盖区域、形态学定义、覆盖率和室内穿透性，在这些因素中，大多数因素都已经在之前的章节中讨论过了。

图12-7归纳了射频规划的流程。在该流程中，首先通常利用射频尺寸计算工具来生成蜂窝站址数量和蜂窝单元站址分布情况，然后利用射频规划工具来预测覆盖区域。这两个工具都会使用地形数据、拓扑数据、设计目标和系统参数（如输入信号）。另外，射频规划工具还会将射频尺寸计算工具的输出结果作为输入信号。

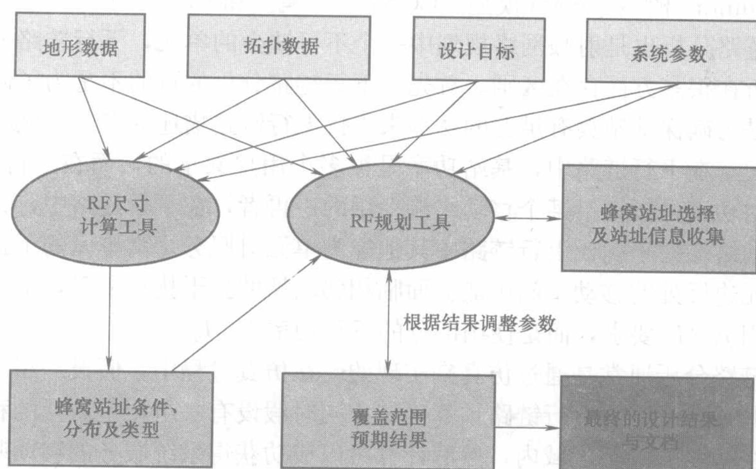


图 12-7 射频规划流程

如果预测得到的覆盖范围不能满足射频设计的目标要求，那么将会根据预测的结果对系统参数或蜂窝单元站址参数进行调整，调整的内容包括改变天线的方位角、下行倾斜、天线高度和蜂窝单元站址位置。调整后的参数再重新输入到射频规划工具中，并再次进行覆盖预测。反复地进行这样的预测过程，直到实现射频设计目标。一旦预测的覆盖范围满足设计的目标，最后的设计结果将会记录在案，作为网络部署的原始参考数据。

12.9 小结

在部署无线网络之前，必须进行射频网络规划。射频网络规划过程可以根据预先定义的一组射频参数来预测蜂窝单元的覆盖范围和容量，还可以评估满足容量和覆盖目标的基站的数量。对于给定的蜂窝单元来说，在容量和覆盖率之间会取得一个折中平衡。容量越高，意味着蜂窝单元可以为更多的 UE 提供服务，但同时造成的蜂窝负载也越重，产生的干扰也越高，从而链路预算也就越低，蜂窝单元的覆盖范围就越小。链路预算是射频规划中一个不可缺少的单元，用来提供蜂窝单元容量和蜂窝单元覆盖半径。影响链路预算的参数包括比特速率、流量负载、处理过程增益、E_b/I_o 要求、传输环境、接收端灵敏度、极值容量、由于干扰产生的噪声冲击、天线增益及供电线路损耗、衰减容限、快速衰减容限、人体损耗、UE 发射功率和 Node B 接收端噪声系数。

一旦链路预算确定之后，就要可以通过传输模型来计算蜂窝单元的覆盖半径。在过去的几十年时间里，人们已经提出了很多传输模型，其中使用最多的模

型包括Okumura模型、Hata模型、COST 231模型和Lee模型。

下行链路分析也是射频网络规划中一个不可缺少的单元，下行链路分析与上行链路分析在很多方面存在区别。首先，下行链路分析的目的不是为了确定覆盖区域，而是为确保基站具有足够的功率来支持上行链路描述的覆盖区域中的所有用户；其次，在下行链路中，基站功率是被多个用户共享的，而在上行链路中，基站的发射功率是指定给某个移动终端专用的；再者，在下行链路中，其他蜂窝单元对移动终端的干扰比上行链路中其他蜂窝单元对服务蜂窝单元的干扰大，因为蜂窝单元边缘处的移动基站可能会面临相邻基站的强干扰；最后，下行链路分析没有使用E_b/I_o要求，而是使用部分的下行功率E_c/I_{or}。

下行链路分析通常是通过仿真来实现的。在仿真过程中，假设一组固定位置的基站，其覆盖范围由上行链路预算确定，同时假设有一组预定数量的移动终端随机分布在基站的覆盖区域内，然后计算可以成功获得系统服务的移动基站的数量所占的百分比。仿真是一个反复迭代的过程。在该过程中，基站功率在每次迭代过程中都会被修订一次，直到基站功率达到稳定状态。下行链路分析中会同时考虑容量和覆盖范围。如果基站没有足够的功率来支持覆盖区域中的所有移动终端，那么将会导致基站的容量下降，或者导致上行链路预算中确定的覆盖半径减小，这样才能支持上面所说的全部移动终端。在射频网络规划中，下行开销信道的功率分配也非常重要。下行开销信道的功率分配也是射频网络规划中的一项重要内容。下行开销信道包括CPICH信道、SCCPCH信道、PCCPCH信道、P-SCH信道、S-SCH信道和PICH信道。导频功率分配会直接影响导频信道的覆盖率。通常，导频功率约为基站发射功率的10%，其他开销信道的功率是相对导频信道的功率来设定的。

除了下行开销信道的功率分配之外，扰码规划也是射频网络规划中的一项重要内容。扰码规划过程会为各个蜂窝单元分配扰码。UE在初始捕获流程中会识别蜂窝单元的扰码，扰码规划可以确保相邻蜂窝单元的扰码之间的互相关性尽可能低。在任何无线网络中，基站天线都占有很重要的作用。在选择基站天线时，应充分考虑射频环境和覆盖目标。基站天线的选择要求必须明确天线的各种电气规范和机械规范，这些规范包括天线增益、水平波束宽度、垂直波束宽度、频率范围、输入阻抗、额定功率、电压驻波比（VSWR）、极化特性、前后（Front-to-back）增益比、天线下行倾斜度、物理尺寸、重量、风力载荷、连接器类型、安装附件等。

为了成功进行射频规划，射频规划过程也是非常重要的。一个成功地射频规划设计可以使射频网络规划更加容易运行。而且，在射频规划之前，首先必须对网络的目标有一个彻底的理解，包括使用的频段、网络的容量和覆盖边界。射频规划的主要工具包括射频尺寸计算工具和射频规划工具。其中，射频尺寸计算工

具用来生成蜂窝单元的站址和分布信息，射频规划工具用来预测蜂窝单元的覆盖区域。

参考文献

[1] A. J. Viterbi，A. M. Viterbi，K. S. Gilhousen，and E. Zehavi. Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse-link capacity，IEEE J. Selected Areas of Communication. vol. 12，pp. 1281-1288，October 1994.

[2] 3GPP TS 25. 101. User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD).

[3] Yoshihisa Okumura，et al. Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service，Review of the Electrical Communications Laboratory. vol. 16，No. 9-10，September-October 1968.

[4] Masaharu Hata. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service，IEEE Transactions on Vehicular Technology. vol. 29，No. 3，August 1980.

[5] COST 231. Digital mobile radio towards future generation systems，Final Report，COST Telecom Secretariat，European Commission，Brussels，Belgium，1999.

[6] William C. Y. Lee. Mobile Cellular Telecommunications. 2nd Edition. McGraw-Hill，1995.

[7] Stamatis Kourtis. Code Planning Strategy for UMTS FDD Networks，IEEE Vehicular Technology Conference "VTC 2000". vol. 2. pp. 815-819.

第 13 章　WCDMA 射频网络优化

射频网络优化是无线网络部署中一项必不可少的内容，同时也是网络运行中从不间断的一个过程。射频网络优化涉及网络性能的评估和提升。WCDMA 射频网络优化与其他技术无线网络中的射频网络优化过程非常相似。通常，整个 WCDMA 射频网络优化过程包含以下步骤：

1）预优化阶段；

2）基于测试驱动的优化阶段；

3）基于流量统计的优化阶段。

在预优化阶段，系统首先会检查基站安装是否正确，硬件工作是否正常以及功率设置是否合适。天线核查过程可以确保系统根据设计文档来设定正确的天线高度、倾斜度和方位角。一个完美的预优化过程可以在很大程度上降低基于测试驱动的优化过程中的工作量。

基于测试驱动的优化阶段是主要的优化阶段，也是一个耗时很长的优化过程。基于测试驱动的优化过程是在网络进行商业运行之前进行的，该优化阶段的目标是确保网络可以提供足够的覆盖能力和容量，并确保网络具有良好的性能和质量。

基于流量统计的优化过程是在商业网络的在线流量上进行的。在该过程中，网络设备提供商或网络运营商通常使用软件工具和特定的网络性能计数器，来标识并优化网络的问题区域。

本章将重点介绍射频优化过程中的各个要点，详细讨论基于测试驱动的优化过程和基于流量统计的优化过程。本章中不会讨论具体的射频优化技术，如分级蜂窝单元结构或者内置优化。本章中介绍的基于测试驱动的优化过程适用于各种无线网络，包括崭新的无线移动网络、现有网络的扩展以及在现有系统上（具有不同的空中接口技术）叠加的无线移动系统。

13.1　射频优化概述

在射频优化过程中，最重要的两个内容为覆盖能力和容量。优化一个网络时，最基本的就是优化网络的覆盖能力和容量。根据网络的具体要求，网络必须使其覆盖范围最大化，但同时会以牺牲其容量作为代价。例如，在早期的绿色区域网络中（蜂窝单元的数量是有限的），射频优化的重点是以更低的容量提供更

大的覆盖范围；另一方面，网络也可以在保持其覆盖范围不变的前提下使其容量最大化。例如，在密集的城市中，可以通过添加蜂窝单元来提高网络的容量，而覆盖范围则是次要的。

网络的覆盖能力和容量与很多因素有关，其中主要包括导频污染、丢失的相邻蜂窝以及拐角效应等。所有这些因素都可能造成呼叫丢失、呼叫发起故障和呼叫结束故障。另外，覆盖范围也会很容易受到蜂窝单元“呼吸”效应的影响——“呼吸”效应是指随着蜂窝单元负载的增加，蜂窝单元的覆盖范围会缩减。

一般来说，蜂窝单元的覆盖范围是指前向链路中导频 E_b/I_o 值高于最小门限的区域（例如，在 384 kbit/s 的电路交换数据链路中门限为−11dB），也可以定义为前向链路流量的 E_b/I_o 值高于指定门限的区域，或者上行链路流量的 E_b/I_o 值高于指定门限的区域（例如，64 kbit/s 的数据链路中门限为 3.4 dB）。严格来说，覆盖区域应该定义为以上 3 种区域中的重叠区域部分。

理想的 E_b/I_o 和 E_c/I_o（上行和下行链路）值与特定网络的业务和质量有关。可实现的 E_b/I_o 值与路径损耗直接相关：路径损耗越大，E_b/I_o 值越小；路径损耗越低，E_b/I_o 值越大。最大允许的路径损耗由链路预算控制。在射频优化过程中，通常可以通过调整天线的方位、天线下行倾斜度和 Node B 输出功率来扩展蜂窝单元的覆盖范围。

13.2 射频优化中的要点

在 WCDMA 网络的射频优化过程中，将会涉及很多重要的内容，这些内容包括蜂窝单元“呼吸”、导频污染、远近效应、拐角效应、切换和不完整的相邻蜂窝列表等。

13.2.1 蜂窝单元的“呼吸”

在所有采用 CDMA 技术的网络中，都存在蜂窝单元“呼吸”现象，WCDMA 网络也不例外。蜂窝单元“呼吸”现象是指蜂窝单元的覆盖范围会随着蜂窝单元的负载变化而变化。蜂窝单元负载会产生网络干扰，从而会导致蜂窝单元覆盖边缘的业务质量下降，最终导致蜂窝单元的覆盖范围缩减。相反，蜂窝单元的负载越低，产生的网络干扰就越少，从而蜂窝单元的覆盖范围就越大。

为克服蜂窝单元“呼吸”效应，通常在商业试运行阶段，在前向链路中采用仿真网络流量来进行射频优化。流量负载仿真过程可以生成下行链路干扰来模拟在线流量。在上行链路中，通常在 UE 上附加一个衰减器来模拟流量负载。

13.2.2 导频污染

当动态集中有主宰导频或者强导频没有添加到动态集中时，就会产生导频污

染。这种现象通常在街道的十字路口、高架公路、桥梁、湖泊和建筑物的高层中才会出现。

在导频污染区域中，尽管导频可能具有足够的E_c（信号强度），但是E_c/I_o值仍然很低。但这种低E_c/I_o值可能是由于E_c信号强度不足而导致的，E_c信号强度不足是由广泛存在的路径损耗引起的。这种情况下，问题区域就可以看作是覆盖空洞，而不是导频污染区域。因此，射频工程师在通过调整天线参数和系统参数来进行交替驱动测试和建立主宰导频之前，首先必须确定低E_c/I_o值是由于导频污染导致的，还是由广泛存在的路径损耗导致的。一旦确定是导频污染导致的，下一步将扩大主宰频率的覆盖范围，并降低较弱导频的覆盖范围——这个目标可以通过调整天线的下行倾斜度或者P-CPICH信道功率来实现。在基于驱动测试的优化过程中，还应该注意通过软切换来保持覆盖的连续性。

如果UE的倾斜接收端没有接收到部分强多径信号并对其进行解调，那么多径传输将会产生干扰。例如，当一个6支路的RAKE接收机接收到两个导频，这两个导频中每个导频都具有3条传输路径，那么该6支路的RAKE接收机就会被完全占用，而其他导频和多径信号就变成了干扰信号。

13.2.3 远近效应

当UE接近一个基站，而且其发射功率高于要求的功率时，将会对远离基站的UE产生广泛的干扰。因此，通常使用闭环功率控制功能来指导UE快速调整其发射功率，以便基站可以接收到蜂窝单元中其他UE相同功率的信号（无论这些UE离蜂窝单元有多远）。

为了解决这个问题，利用射频优化可以确保所有的功率控制机制都可以正常运行。但是，如果Node B或UE始终采用满负荷功率进行发射（即使块错误率很低），那样也会产生功率控制故障。如果出现功率控制故障，就必须检查并调整功率控制参数的设置。

13.2.4 拐角效应

当UE移动到一个地方，该地方存在一个新基站的强导频，而该基站又不是之前为UE提高服务的基站时，就会产生拐角效应。此时下行链路性能会临时下降，直到切换过程完成。当UE进入新蜂窝单元的切换过程中时，将会利用快速功率控制功能来降低新蜂窝单元的发射功率。

为了解决这个问题，采用的射频优化过程与远近效应中的类似。首先，必须对功率控制机制进行严格检查，以确保正常运行。拐角效应通常出现在街道十字路口处或高架公路上。为了克服拐角效应，除了仔细检查功率控制机制外，还必须调整新蜂窝单元的切换参数或天线方位和天线的下行倾斜度。

13.2.5 切换效应

在任何无线网络中，切换都是不可避免的。如果运行正常，切换过程不仅可以防止呼叫丢失，还可以提高呼叫质量。另一方面，由于覆盖的不连续性或导频污染导致的不必要切换应该尽量避免，因为这种切换会浪费资源，还会降低系统容量。

切换过程必须快速运行，因为切换过程中的不必要延迟会产生上行/下行链路干扰。尤其是当 UE 和 B 节点之间由于衰减而产生的路径损耗变化很快时，快速的切换过程更加重要。切换过程中，由于资源分配而产生的时间延迟不仅会影响呼叫质量，还会降低数据呼叫过程的吞吐率。

在切换过程中，射频优化过程可以通过设置并调整各种切换参数（如门限和定时器）来优化切换性能。

13.2.6 不完整相邻蜂窝单元列表

在射频设计阶段，有一项设计任务很重要，就是为每个扇区生成一个相邻蜂窝单元列表。通常，有些相邻蜂窝单元列表不是 100%完整或者准确的。UE 接收到的导频不在相邻蜂窝单元列表中，那么它们就不能添加到动态集中。这些丢失的相邻蜂窝单元将会产生干扰，因此，将所有接收到的导频全部包含到相邻蜂窝单元列表中非常重要。

检查相邻蜂窝单元列表是射频规划中的一部分内容。通常，射频工程师会利用软件工具来检查相邻蜂窝单元列表的相互关系。在驱动测试过程中，丢失的相邻蜂窝单元也会被发现。

13.3 预优化准备

预优化准备包括硬件检查和天线勘察，其目的是为了确保基站设备正常工作，以及天线是按照设计文档安装的。

13.3.1 硬件检查

通常，在基站安装和调试完毕之后，必须进行硬件检查。硬件检查是为了确保基站正常工作。虽然硬件检查不是射频优化过程中的先决条件，但是硬件检查可以在射频优化过程中避免一些由于硬件导致的问题。

13.3.2 天线勘察

天线勘察过程涉及一系列的质量检查，从而确保天线和供电系统的安装正

确。勘察基站的数量与天线的安装水平有关。根据经验，在一个蜂窝单元簇中，一般需要检查20%～25%的基站，其中勘察基站的选择必须是随机的。如果勘察的基站中有超过50%的基站不满足安装要求，那么该蜂窝单元中剩下的天线都必须进行勘察，勘察内容包括天线高度、天线方位角、天线类型、天线下行倾斜度、跳线排列、供电线路分布、雷电防护、接地、气候防护等等。

13.4　基于驱动测试的射频优化

基于驱动测试的射频优化过程主要由4个阶段组成：射频优化规划、扇区识别、簇优化和系统识别。

13.4.1　射频优化规划

射频优化规划阶段的主要任务包括预驱动测试规划、工具准备、设备安装和频谱清除核查。

1. 预驱动测试规划

预驱动测试规划包括簇规划、射频优化启动标准审查、数据库参数核查和驱动测试路由的确定。

在簇规划过程中，通常将大约20个地理位置相邻的基站划分成一个簇，每一簇中的基站数量与基站的分布和拓扑环境有关。在划分各个簇时，通常利用自然屏障（如山头或河流）作为界限，以尽量减小各个簇之间产生重叠和干扰的可能性。各个簇之间必须保持一定的重叠，这样才可以保证各个边界之间的连续性。网络首先会划分成各个簇，每个基站属于一个簇。但是，基站也可以属于多个簇，其目标是可以对切换过程进行测试。在划分出各个簇之后，应该在地图上描绘出每个簇的边界，并记录下每个簇中各个基站的列表。

射频优化启动标准审查过程是必不可少的，该过程可以确定优化过程何时开始。通常，在一定数量的基站/簇安装和调试完成之后，就可以启动射频优化过程。

在数据库参数核查过程中，将检查射频参数（如扰码、功率衰减和所有切换门限参数）与系统文档中其他参数之间的一致性。数据库参数核查过程中的另一个重要内容就是核查相邻蜂窝单元列表。所有的相邻蜂窝单元列表用来比较各个蜂窝单元之间的相邻关系与网络设计规划图中的是否一致，同时还用来核查蜂窝单元最新的更新情况、有效性和合适性。尽管标准允许一个相邻蜂窝单元列表中最多可包含32个蜂窝单元，但是当相邻蜂窝单元列表生成时建议先不要填满列表。

驱动测试路由用来定义扇区核查、簇优化和系统核查。通常，覆盖预测图和

方位图可以用来确定驱动测试路由。

（1）扇区核查的驱动路由　扇区核查过程中的驱动测试路由相对比较简单，该路由是指以基站为圆心、以蜂窝覆盖距离的一半为半径的圆圈。

（2）簇优化的驱动路由　簇优化过程中的驱动测试路由在簇优化过程中占有很重要的作用，该路由包含了主要道路、高速公路和热点地区，这样重要的流量区域就不会被忽略掉。理论上，在一个典型的簇中，驱动所有路由的总时间约为 6～8h。但是，这还不是主要问题。实际应用中，根据驱动路由的流量情况和簇的大小，完成一次簇驱动测试的时间通常为 3～4h。除了簇驱动测试路由之外，在核查系统性能时还需要为每个簇选择一个控制路由。控制路由是簇驱动测试路由的一个子集，该路由的测试时间不能超过 1h。另外，在各个簇相互重叠的区域中，核查系统性能时还需要选择一个额外的边界路由。边界路由的选择应该按照以下的方式进行：该路由可以贯穿簇的边界，而同时不会进入到各个簇的内部区域中。

（3）系统核查的驱动路由　系统核查驱动路由通常用来收集现有标准中的各种测量机制。系统核查驱动路由是簇控制路由和边界路由的集合体。

2. 设备安装

在进行每项驱动测试之前，首先必须安装驱动测试设备，并进行校准。设备安装过程中包含以下几项内容：

1）安装射频驱动测试工具箱，并进行检查。

2）装载了驱动测试设备的测试车必须配置完全。

3）对 UE 进行编程。

4）计算穿透损害和上行负载。

5）准备一台便携式计算机，以便存储驱动测试结果，并准备进行数据分析。

3. 频谱清除核查

频谱清除核查可以确保没有额外的干扰，并保证在 WCDMA 系统和其他系统之间有足够的保护带宽。

对干扰的检测是一个耗时很长的过程，而且一旦 WCDMA 系统建立并运行起来之后，对干扰的检测就更难进行。因此，在进行任何驱动测试之前，确保频谱被清除干净是非常重要的。

13.4.2　扇区核查

扇区核查过程用来检查基本的呼叫处理功能，包括呼叫启动、呼叫结束和切换。扇区核查过程还可以核查每个扇区是否采用合适的功率等级进行发射，以及是否使用正确的扰码。扇区核查还可以在进行簇驱动测试之前，检测基站簇中每个基站尚未发现的硬件问题、软件问题、配置问题和参数问题。

扇区核查测试可以通过一个数据收集工具（如CAIT3G）来对UE进行测试，所有从扇区核查测试中得到的数据都会利用一个后期处理工具（如LDAT3G）来收集并进行后期处理。在核查过程检测到的任何错误都必须进行更正，而且扇区核查测试必须反复进行，直到所有的测试全部通过。

目前，在射频网络规划中，扇区驱动测试过程通常被虚拟负载呼叫过程取代了；只有在特定要求下才会进行扇区驱动测试，如对更软切换区域进行核查。

13.4.3 簇优化

如前所述，一个簇是由大约20个地理位置相邻基站组成的。簇优化过程是在每个簇中的基站上进行的，因此簇优化过程也是一个多基站优化过程。簇优化的优点如下：

1）优化区域更加集中。因为扇区数量越少，对参数变化和影响簇性能参数的跟踪就越容易。

2）多个驱动测试组可以同时优化不同的簇。每个驱动测试组可以集中测试某个簇，并尽量减小与其他驱动测试组之间的影响。

3）可以加速商业运行时的系统测试过程。在安装和调试完毕的簇上进行驱动测试优化的过程可以与其他簇的安装过程同时进行。

每个簇应该分别在没有负载和一定负载的条件下进行测试。如果是在在线流量上进行测试，那么被测试簇中的各个蜂窝单元必须与除了测试UE之外的所有UE进行隔离。网络中所有的簇在进行负载测试之前，首先应该进行没有负载的测试。当一组相邻的簇通过了优化标准之后，应该对各个簇的边界进行驱动测试，以核查各个边界是否也通过了优化标准。

在簇优化过程中，通常使用两种工具来收集数据：处理工具和分析工具。前一种工具是以电话为基础的，如CAIT3G；后一种工具是以扫描仪为基础的，如Viper。基于扫描仪的工具是一个非常重要的工具，因为该工具具有多导频测量功能，该功能在那些复杂的射频环境（如桥梁、大型水域和不平坦的地形）中进行纵深覆盖分析时非常有用。

1. 无负载簇优化

在第1次簇优化阶段，测量驱动是在无网络负载条件下沿着驱动测试路由进行的。在该阶段，驱动测试的目的是根据收集到的数据来核查并优化各个问题点。在该阶段，覆盖空洞、切换区域、导频污染区域和属于其他簇的辐射侵入基站都会被核查到。经过该阶段的优化，相邻蜂窝单元列表将会得到修订，天线方位角、天线下行倾斜度和基站发射功率也将会得到调整。无负载簇优化过程可以暴露射频设计中存在的缺陷，并对其进行修正。

无负载驱动测试按照如下步骤进行：

1）使用长呼叫（或者 Markov 呼叫），以便进行驱动测试测量；

2）记录下使用软件工具时的 BLER；

3）记录下使用 CAIT 或其他工具的数据；

4）利用后期处理工具处理记录下来的文件。

在处理完记录的文件之后，就可以在驱动路由上生成各种性能测量值。通常，可以生成以下参数的曲线图：CPICH 的最大支路数、主宰导频的 E_c/I_o、UE 发射功率、UE 接收功率和 BLER。

2. 负载簇优化

簇优化的第 2 个阶段是在有负载的条件下进行的。在负载条件下进行的驱动测试是在与无负载驱动测试过程中相同的驱动路由上进行的。在负载条件下，噪声水平会上升，从而导致覆盖范围缩减（相比无负载的条件下）；而且潜在的覆盖空洞就会暴露，BLER 也会上升，从而导致吞吐率下降，并产生更多的呼叫丢失。负载簇优化过程可以解决这些问题，包括微调射频参数，如发射功率和切换参数。有时，天线方位角和下行倾斜度必须合适；有时，天线高度或者天线类型需要进行调整。

在解决了上面这些问题之后，各个驱动测试必须对这些问题区域重新进行测试驱动。但在工程实践中，驱动问题区域的次数一般不超过 3 次。如果在 3 次驱动之后以上问题可以得到解决，就必须进行分析，并对下一个簇进行驱动测试。

负载驱动测试通常使用软件工具来模拟下行方向上的负载，因为在该阶段还没有在线流量。在上行方向，通常在 UE 端插入一个衰减器来模拟负载条件。负载簇驱动测试可以详细说明负载条件下的网络性能。

负载驱动测试按照如下步骤进行：

1）在簇中的每个基站启动下行负载模拟；

2）利用 UE 来完成固定数据速率的数据呼叫过程；

3）记录使用软件工具时的 BLER；

4）记录使用 CAIT 或其他工具时的数据；

5）利用后期处理工具处理记录下来的文件。

在处理完记录的文件之后，就可以在驱动路由上生成各种性能测量值。类似于无负载驱动测试过程，该过程通常可以生成以下参数的曲线图：CPICH 的最大支路数、主宰导频的 E_c/I_o、UE 发射功率、UE 接收功率和 BLER。

3. UE 呼叫启动测试

在负载测试完成之后，下一步就是进行 UE 呼叫启动测试。UE 呼叫启动测试的目的是检查 UE 的呼叫启动性能。在 UE 呼叫启动测试过程中，UE 持续进行多次 20s 的呼叫，各个连续的呼叫之间间隔 10s。UE 可以利用 CAIT 软件自动启动呼叫过程。

UE呼叫启动测试流程主要由以下步骤组成：

1）将64 kbit/s作为数据速率来进行UE呼叫启动测试；

2）利用CAIT软件或其他工具来记录数据；

3）利用后期处理工具来处理CAIT记录文件；

4）运行启动程序；

5）绘制启动故障图；

6）计算呼叫启动故障率。

4. UE呼叫结束测试

UE呼叫结束测试的目的是检查UE呼叫结束的性能。在该测试中，有线电话会向UE持续进行多次20s的呼叫，各个连续的呼叫之间间隔10s。UE呼叫结束测试流程如下：

1）将64 kbit/s和384 kbit/s作为数据速率来进行UE呼叫结束测试；

2）利用CAIT软件或其他工具来记录数据；

3）利用后期处理工具来处理CAIT记录文件；

4）运行结束程序；

5）绘制结束故障图；

6）计算呼叫结束故障率。

5. 簇性能核查

簇性能核查是簇优化过程的最后阶段。簇性能核查过程利用退出驱动测试来核查簇的性能，簇的性能是按照簇退出标准的相反流程来进行测量的。簇退出驱动测试最后得到统计特性将会被记录在案，这些统计特性包括性能曲线图和表格数据。

13.4.4 系统核查

系统核查是基于驱动测试的优化过程中的最后一步，该过程主要负责收集所有系统的性能统计数据。当所有簇都完成了驱动测试并修正了所有问题之后，将立即启动系统核查。系统核查是在负载条件下进行的，此时所有的蜂窝单元都处于活动状态。系统测试要求通常都是明确定义的，在系统核查过程中，必须在系统范围内满足退出标准。

通常，系统核查是一个驱动测试过程，该过程覆盖了主要的商业区域、主要高速公路、主要道路和特别定义的覆盖区域。选择系统核查的驱动路由时必须能代表整个网络，但同时该路由的密度还不能和簇优化过程中的一样。在簇优化过程中标示出的问题区域在系统核查过程中必须重新进行测试。但是，系统驱动路由通常不会用于优化，因为优化某一个系统路由时，虽然可以提高该系统核查驱动路由的性能，但同时会影响其他路由的性能。

系统核查流程和分析过程与簇优化过程中的完全相同。在系统核查过程中，收集到的性能数据和统计数据可以用来描述整个网络的覆盖范围和性能。系统核查过程是簇性能核查过程的继续，不同的是系统核查过程覆盖了更大的连续覆盖区域。

系统核查过程中标识出来的问题区域在整体驱动测试完成之后将会一一得到解决，个别的簇优化驱动测试通常通过调整发射功率和相邻蜂窝单元列表来解决覆盖问题。在一些情况下，切换门限、信道功率参数或其他非频率调谐参数都需要进行修正。因此，就需要执行一次新的驱动测试过程，以确保在某个区域进行参数调整之后周围的区域仍然可以正常工作。

系统核查过程通常使用了簇优化过程中相同的工具。当系统核查过程完成之后，我们就认为射频优化流程结束了。在射频优化流程结束之后，网络就可以提供在线流量服务了。一旦网络中产生了大量的在线流量，就可以通过对系统参数进行额外的微调，来应对突发的流量情况和其他无法利用仿真工具来进行建模的情况。

13.4.5　射频优化工具

测量系统的性能对于射频优化来说非常重要，因此就需要各种测量工具来实施测量过程。如前所述，根据定义，测量工具可以分为数据收集工具和数据分析数据。目前在市场上有很多有效的商业工具，而且很多网络设备提供商也都已经开发出了自己的射频优化工具。关于网络设备提供商专用的各种射频优化工具以及市场上各种工具，在此不作介绍。不过，有些射频优化过程中使用比较频繁的工具（不管这些工具的来源或者开发者是谁）将会在此给出介绍。用于数据收集和数据处理的商业工具包括：CAIT（Qualcomm 公司）、VIPER（Agilent 公司）、Aircom3G（Aircom 公司）、Actix（Actix 公司）、TEMS（Ericsson 公司）、WINDS（Qualcomm 公司）、Friendly Viewer（Qualcomm 公司）等。无线网络设备提供商开发的各种用于基于驱动测试的优化过程的专利工具包括：阿尔卡特-朗讯公司（Alcatel-Lucent）的 LDAT、OCNS、射频呼叫追踪等。

13.4.6　WCDMA 系统性能测量机制

系统性能测量机制通常用来评估 WCDMA 网络的特定质量和性能。评估过程可以用来检查网络的运行状况，并提供授权。为了获得授权，必须确保部署的网络在运行时满足各种设计要求。性能测量机制是由一系列的质量指示组成的，质量指示包含很多种类，用于功能和性能测试。但是，在射频优化过程中，只使用了关键质量指标中的一小部分，这部分质量指标可以代表 WCDMA 网络的质量和性能。

在话音业务中，关键的性能指标包括信道误块率、呼叫丢失率、呼叫启动成功率和呼叫结束成功率；在数据业务中，关键的性能指示包括无负载吞吐率、负载吞吐率和往返延迟。接下来，我们将详细阐述这些关键性能指标。

1. 误块率（BLER）

下行和上行链路中的BLER测量过程是在模拟的负载条件下进行的。在负载条件下，连续的呼叫是沿着驱动测试路由进行的，如果某一次呼叫产生丢失，新的呼叫就会立即建立。在呼叫过程中，数据收集是通过数据收集工具来完成的，如CAIT3G。收集到的数据将通过后期处理工具来进行后期处理，如LDAT3G。

2. 呼叫丢失率

在模拟的上行和下行负载条件下，将沿着驱动测试路由进行一系列的测试呼叫。连接成功的呼叫和丢失的呼叫（在持续时间90s之前）都将记录下来。呼叫丢失率是指丢失的呼叫数与进入连接状态的总呼叫数的比值，如式（13-1）所示：

$$呼叫丢失率 = 丢失的呼叫数 / 总呼叫数 \times 100\% \qquad (13-1)$$

可接受的呼叫丢失率通常为2%～5%。

3. 呼叫启动成功率

在模拟的下行和上行负载条件下，将沿着驱动测试路由进行一系列有效的测试呼叫。有效测试呼叫是指在MSC中对非忙号码进行正确的拨号呼叫。呼叫启动成功率定义为呼叫启动成功的次数与有效测试呼叫总次数的比值。启动成功的呼叫是指成功进入连接状态的呼叫，如式（13-2）所示：

$$呼叫启动成功率 = 成功启动的次数 / 总的启动次数 \times 100\% \qquad (13-2)$$

通常，可接受的呼叫启动成功率必须超过95%。

4. 呼叫结束成功率

类似于呼叫启动成功率测量过程，在呼叫结束成功率测量过程中，测试UE将沿着驱动测试路由进行一系列有效的测试呼叫。有效测试呼叫是指在MSC中对测试UE进行正确的拨号呼叫。呼叫结束成功率定义为呼叫结束成功的次数与有效测试呼叫总次数的比值。结束成功的呼叫是指成功进入连接状态的呼叫，如式（13-3）所示：

$$呼叫结束成功率 = 成功结束的次数 / 总的结束次数 \times 100\% \qquad (13-3)$$

通常，可接受的呼叫结束成功率必须超过95%。

5. 无负载吞吐率

无负载吞吐率是通过在无负载条件下沿着驱动测试路由利用特定的载体进行持续发送数据来测量的，最后将计算平均UE吞吐率。在载体产生故障时，必须立即重新构建传输载体。

在允许的测试过程中，动态载体的可接受平均吞吐率是按照如下的标准来定义的：

1）平均数据速率分布高于或等于一定的允许数据速率；

2）速率分布的标准偏差低于或等于一定的允许值；

3）测得的平均吞吐率必须在平均速率分布的标准偏差内下降。

6. 负载吞吐率

负载吞吐率测量的方式与无负载吞吐率测量方式完全相同。无负载吞吐率测量过程中使用的可接受标准在负载吞吐率测量过程中也同样适用，除了允许的平均数据速率和标准偏差不同之外。

7. 往返延迟

往返延迟的测量过程是在很小的负载条件下（如 64B）沿着驱动测试路由来回重复进行的，该过程是通过 GGSN 中连接 UE 和服务器的计算机来实现的。延迟测量是在无负载条件下进行的。

不同载体的延迟必须分别进行描述。例如，64 kbit/s 上行链路及 64 kbit/s 下行链路（64/64）的延迟和 64 kbit/s 上行链路及 384 kbit/s 下行链路（64/384）的延迟必须分别计算。往返延迟的大小通常为微秒级。在可接受的前提下，在设计覆盖区域和特定的载体中测得的往返延迟中，一定比例的延迟不能超过特定的允许值。例如，在设计覆盖区域中，64 kbit/s 上行链路及 384 kbit/s 下行链路（64/384）中测得的所有延迟中 95%的延迟不能超过 2 ms。

13.5　基于流量统计的射频优化

当网络处于商业运行阶段时，网络中的流量将会随着时间的推移逐步上升。在一定的网络流量条件下，最好通过合并分析流量统计性能和驱动测试来进行射频优化。

13.5.1　流量统计数据收集与处理

流量统计可以真实反映网络的运行状态，也可以作为网络优化和维护的参考以及评估网络性能的基础。在 WCDMA 网络中，UTRAN 的运行与维护中心（Operation and Maintenance Center-UTRAN，OMC-U）负责收集流量统计数据，之后根据流量统计性能来对这些数据进行分析，并计算性能测量结果。根据性能测量结果可以发现问题区域，这些区域必须通过调整射频参数来重新进行射频优化。

13.5.2 WCDMA网络的关键流量统计参数

各个网络设备提供商分别定义了各自得流量统计参数。通常，WCDMA网络中的关键流通统计参数包括：

1）系统接入性能测量参数，如接入故障率、接入块速率、UE启动成功率；

2）系统服务性能测量参数，如呼叫丢失率、切换成功率、平均呼叫时间；

3）系统资源分配和负载参数，如OVSF码使用率和资源分配块速率；

4）数据吞吐率，如单个用户吞吐率和蜂窝单元吞吐率。

基于流量统计的射频优化过程通常会涉及到很多OMC中网络设备提供商的专利工具和软件。如何在指定的在线网络中进行基于流量统计的射频优化，这部分内容超出了本书讨论的范围，这里不进行讨论。

13.6 小结

整个WCDMA射频优化过程包含以下3个阶段：

1）预优化阶段；

2）基于测试驱动的优化阶段；

3）基于流量统计的优化阶段。

预优化阶段中的基本任务包括Node B安装检查、硬件检查、功率设定检查和天线倾斜度。

网络在商业运行之前必须进行基于驱动测试的优化。基于驱动测试的优化是为了确保网络可以提供足够的覆盖范围和容量，并确保网络性能满足特定的标准。基于驱动测试的优化过程由4个步骤组成：预驱动测试规划、扇区核查、簇优化和系统核查。其中，预驱动测试规划过程包括簇规划、射频优化启动标准审查、数据库参数核查和驱动测试路由的确定；扇区核查负责检查基本的呼叫处理功能，该功能包括呼叫启动、呼叫结束和切换；扇区核查还负责核查发射功率和扰码。簇优化过程是在簇中的所有基站上进行的，其中每个簇应该分别在无负载和有负载条件下进行驱动测试。如果网络中存在在线流量，那么被测试簇中的各个蜂窝单元必须与除了测试UE之外的所有UE进行隔离。当所有簇都完成了驱动测试并修正了所有问题之后，将立即启动系统核查。系统核查是在负载条件下进行的，此时所有的蜂窝单元都处于活动状态。在系统核查过程中，必须在系统范围内满足退出标准。

性能测量参数通常用来评估WCDMA网络的质量和性能。质量指标包含很多种类，用于功能和性能测试。但是，在射频优化过程中，只使用了关键质量指标中的一小部分，这部分质量指标可以代表WCDMA网络的质量和性能。在话

音业务中，关键的性能指标包括信道误块率、呼叫丢失率、呼叫启动成功率和呼叫结束成功率；在数据业务中，关键的性能指标包括无负载吞吐率、负载吞吐率和往返延迟。这些指标既适用于电路交换业务，也适用于分组交换业务。

当网络中存在足够多的在线流量时，将进行基于流量统计的射频优化过程。在该过程中，使用软件工具和特定的网络性能计数器来核查并优化问题区域。在基于流量统计的射频优化过程中，关键的流量统计参数包括系统接入性能测量参数、系统服务性能测量参数、系统资源分配与负载参数以及数据吞吐率等。

第 14 章　WCDMA 网络中的转发器和塔顶放大器应用

转发器的功能是对接收到的信号进行放大，然后再发射出去。在上行和下行方向上，转发器都会执行该功能。在下行方向上，转发器首先通过无线链路或光纤线路从主基站接收信号（发射基站）；之后，转发器对这些信号进行放大，并通过用户天线将其重新广播给移动终端。由于在转发器中没有信号处理功能，因此，转发器将不管信号的来源而直接对其进行放大。在无线链路的转发器中，接收到的信号来自主基站和其他基站，因此，转发器的安装位置必须非常慎重，以确保转发器中接收到的下行链路信号是由主基站控制的。

转发器在使用过程中一直存在的问题就是基站接收端的噪声冲激，该噪声冲激是由于转发器通过发射链路注入的噪声而产生的，而且该噪声冲激将会导致发射基站的覆盖范围产生缩减，这样将会影响利用转发器来实现连续覆盖区域扩展时的优势。而且，添加了转发器之后，将会导致主基站的容量减小，因为通过转发器连接的移动终端需要更高的 E_b/I_o。

与转发器类似，塔顶放大器（Tower Mounted Amplifier，TMA）可以用来提高覆盖范围，它尤其适合那些覆盖范围受到上行限制的情况。塔顶放大器通常用于移动终端最大发射功率和基站接收端的噪声冲激受到限制的情况。由于移动终端的发射功率会受到移动终端电池容量的影响，因此通常会将移动终端的最大发射功率限制在一定的水平，则通过降低系统的有效噪声指数来提高反向覆盖范围是非常有效的方式。

利用塔顶放大器可以降低系统的整体有效噪声指数。更重要的是，塔顶放大器可以有效消除天线和基站之间的线路损耗，从而可以提高链路预算。因此，塔顶放大器可以提高覆盖范围，并降低需要的基站数量，而且还可以提高上行链路性能。利用塔顶放大器还可以提高呼叫质量，并减少呼叫丢失的概率。在过去几年的时间里，商用塔顶放大器的可靠性已经得到了很大程度的提高。塔顶放大器的物理尺寸已经变得越来越小，而且可以广泛应用于很多网络。

本章将主要介绍 WCDMA 网络中转发器和塔顶放大器的使用情况，首先将讨论转发器，然后再讨论塔顶放大器。本章将从实用的角度来讨论 WCDMA 网络中使用转发器时的工程技术原则和转发器部署时的指导原则，而且还将讨论在使用转发器时可能存在的问题及其实用解决方案。另外，本章也将阐述塔顶放大器在提高有效系统噪声指数和链路预算中的重要作用。

本章中讨论的理论和概念一般都适用于各种无线系统，与接入网络技术无关。因此，本章中将会包含很多基站和移动终端等专业术语。

14.1　转发器工程指标

在部署转发器时，必须考虑很多重要的工程指标，包括覆盖目标、基站降敏效应、发射链路、导频区分、天线隔离、转发器增益设定、时间要点、切换要点和发射蜂窝单元过载等。

14.1.1　转发器覆盖目标

首先必须定义转发器的覆盖区域，该区域包括发射基站与转发器之间的传输区域和转发器周围的软切换区域。转发器覆盖目标是确定转发器位置的因素之一。

14.1.2　基站降敏效应

任何添加到网络中的转发器都会给发射基站注入噪声，同时会降低基站接收端的敏感性（即降敏效应）。注入噪声造成的直接后果就是导致发射蜂窝单元的覆盖范围产生缩减，因此在发射蜂窝单元最初覆盖的某些区域中将无法发起呼叫。目前，广泛采用噪声注入容限（Noise Injection Margin，NIM）来量化注入的噪声，NIM 的单位为 dB，如式（14-1）所示：

$$\mathrm{NIM} = F_{\mathrm{B}} - F_{\mathrm{R}} - G_{\mathrm{T}} \tag{14-1}$$

式中，F_{B} 是指基站噪声指数，单位为 dB；F_{R} 是指转发器噪声指数，单位为 dB；G_{T} 是指转发器发射链路的净增益，单位为 dB。G_{T} 中包含转发器增益、发射天线增益、发射天线线路损耗、基站天线增益、基站线路损耗和转发器与基站之间的路径损耗。

在很多实际应用中，一个发射蜂窝单元可以为多个转发器提供服务。这种情况下，所有的转发器都会导致基站产生降敏效应，因此必须限制发射蜂窝单元对应的转发器数量。当然，这个限制的数量与转发器噪声指数和每个转发器的 G_{T} 有关。简单来说，假设一个发射蜂窝单元对应的并行转发器数量为 N，其中每个转发器具有相同的 NIM，那么影响那些远离移动终端的有效基站噪声指数如式（14-2）所示，其单位为 dB。

$$F_{\mathrm{B,eff}} = F_{\mathrm{B}} + 10\lg(1 + N \times 10^{-\mathrm{NIM}/10}) \tag{14-2}$$

基站的降敏指数（发射端上固有噪声电平上的噪声冲激）如式（14-3）所示：

$$\mathrm{BTSD} = F_{\mathrm{B,eff}} - F_{\mathrm{B}} = 10\lg(1 + N \times 10^{-\mathrm{NIM}/10}) \tag{14-3}$$

图 14-1 给出了不同数量的转发器条件下基站降敏指数与噪声注入容限之间

的关系。注入噪声是直接由转发器增益来表示的，转发器增益越大，注入噪声就越高，但同时NIM就越低，基站接收端的降敏效应就越明显。NIM的值与用户链路的灵敏度有关。在郊区的高速功率上，为了保证用户链路的灵敏度，NIM的值通常为0，此时基站接收端的噪声指数为3 dB。如果转发器增益设定太高，NIM的值将会变成负数，从而导致基站接收端的降敏效应高于3 dB。如果转发器增益设定太低，NIM的值就会很大，而基站接收端的降敏效应将会下降；但同时，转发器的覆盖范围将会缩减，这样转发器在高速公路上的扩展覆盖范围将会受到影响。在室内覆盖和空洞填补覆盖的应用中，不需要很高的转发器增益，因为覆盖范围很小，通常采用的NIM值为10 dB。式（14-3）中也说明，10个转发器（每个转发器的NIM为10 dB）产生的基站接收端噪声冲激，相当于1个转发器产生的基站接收端噪声冲激（该转发器的NIM为0 dB）。因此不难发现，在市场上，转发器的数量比基站的数量多一个容限，因为这些市场上90%以上的转发器都是针对室内覆盖的，而且这些转发器具有很大的NIM。

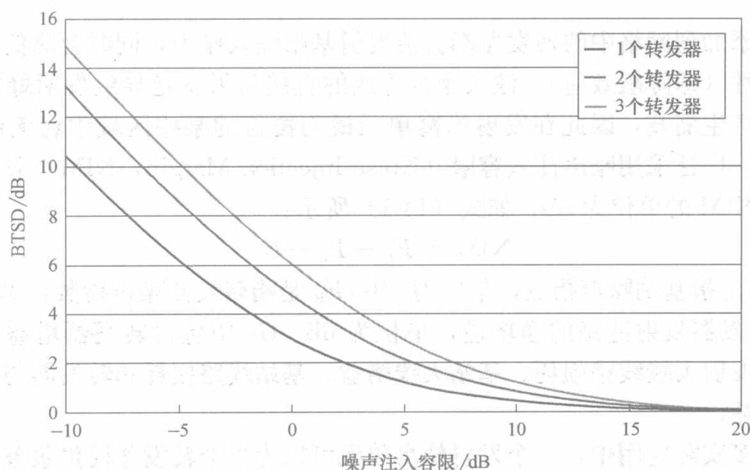


图14-1 基站降敏指数与噪声注入容限之间的关系

14.1.3 转发器噪声指数冲激

当N个转发器连接到一个发射基站时（这些转发器具有相同的NIM），远离转发器的移动终端中将会产生一个有效的转发器噪声指数，如式（14-4）所示：

$$F_{\mathrm{R,eff}} = F_{\mathrm{R}} + 10\lg(1 + N \times 10^{\mathrm{NIM}/10}) \tag{14-4}$$

从式（14-4）中可以看到，NIM的值越大，有效的转发器噪声指数就越大，同时转发器的覆盖范围越小。换句话说，大的NIM值适用于远离基站的移动终端，而小的NIM值适用于远离转发器的移动终端。

14.1.4 发射链路特性

发射链路特性包括转发器和基站之间的路径损耗。对于无线链路转发器来说，视距（Line of Sight，LoS）条件下的链路质量是最好的，因此视距链路也就成了最佳链路类型。对于光纤链路转发器来说，光发射器的功率通常约为 3 dBm，而光接收器的灵敏度为−8 dBm。因此，光纤链路的最大允许路径损耗约为 11 dB，该损耗对应的光纤长度约为 25 km（假设单模光纤的光纤损耗为 0.4 dB/km）。在光接收器中产生的噪声也会导致基站接收端中产生噪声冲激。

14.1.5 导频区分

无线链路转发器通常会无条件放大所有从基站接收到的导频信号，而且很难从大量的导频信号中过滤出需要的导频信号。因此，转发器安装位置的选择非常重要，以便转发器可以从基站发射的各种导频中区分出主宰导频。实现这一目标的方法之一，就是选择最容易与其他扇区隔离的发射扇区；另外，利用窄波束宽度发射天线也可以实现这一目标，这就是为什么经常使用抛物面天线作为发射天线的原因。

对于光纤连接的转发器来说，就不需要发射天线了，因为在光纤连接的转发器中，主宰导频是从发射基站中通过光纤链路发射到转发器中，因此就不存在导频隔离问题了。

14.1.6 天线隔离与增益设定

转发器增益受到发射天线与用户终端天线之间隔离机制的限制，从而避免了正向反馈。隔离机制中的公共常用呼叫至少比转发器增益高 15 dB。例如，如果转发器增益设定为 90 dB，那么天线隔离机制至少为 105 dB。如果隔离不够充分，那么转发器就可能会产生振荡，或者其增益必须设定得更低。转发器中的振荡会造成网络产生欺骗发射，而更低的转发器增益将会减小转发器的覆盖范围。充分的隔离可以通过仔细选择天线的类型以及垂直和水平隔离机制来实现。

转发器增益也会受到轻微控制发射基站覆盖范围缩减的影响。前面介绍过，基站固定噪声电平冲激会受到转发器增益的影响。转发器增益的设定必须仔细慎重，以避免在发射基站接收端产生广泛的固定噪声电平冲激。

14.1.7 切换要点

当转发器添加到连续覆盖的扩展区域中时，总的基站覆盖区域就可以得到扩展，同时，发射基站和相邻蜂窝单元之间的切换区域也可以得到扩展。移动终端在切换状态下保持的时间就比以前更长了。因此，转发器的位置必须位于那些与

相邻蜂窝单元重叠最小的地方。

14.1.8 发射蜂窝单元流量过载

当转发器添加到基站后，基站就可以为更多的移动终端提供服务了。其中，原先处于相邻蜂窝单元中的部分流量可能会转移到配有转发器的基站中。因此，随着流量的不断增加，配有转发器的发射蜂窝单元就会比相邻的蜂窝单元更快产生过载。

14.1.9 转发器放大的窄带干扰

如果上行链路中存在窄带干扰，那么转发器就会对窄带干扰进行放大。但是窄带干扰会对基站的接收性能产生影响，放大后的窄带干扰会导致呼叫启动成功率下降，有时还会阻碍呼叫启动。这种情况已经在那些用来实现区域覆盖扩展的转发器中出现了。经过实践，人们发现，当转发器工作时，呼叫启动成功率会下降，而且呼叫启动偶尔也会受到完全阻碍。

现场测试表明，当转发器添加到系统中后，必须提高移动终端的发射功率，以克服转发器注入的噪声。另外，随着转发器增益的增加，反向链路帧错误率也会上升。这些现场实践经验表明，转发器会降低网络的性能。另外，实践经验还表明，如果转发器调整不恰当，那么该转发器覆盖区域中的那些链路条件较差的移动终端的呼叫建立性能和呼叫维持性能更加容易受到影响。

14.2 WCDMA 网络中与转发器的相关主要问题

在 WCDMA 网络中，可能会出现很多与转发器相关的问题。在转发器覆盖区域中，潜在的问题包括：无法发起呼叫、高呼叫丢失率、高移动终端发射功率、覆盖区域变小、出现频繁的切换、无法与其他蜂窝单元进行切换、接入时间变长等。在发射蜂窝单元的覆盖区域中，潜在的问题包括：高呼叫丢失率、高移动终端发射功率和覆盖区域缩减，因为转发器会导致基站的噪声水平上升。对于其他与转发器相邻的蜂窝单元来说，呼叫丢失率会由于转发器产生的干扰而上升。其他问题还包括呼叫启动故障、导频污染。

接下来的内容将详细讨论与转发器相关的问题产生的原因及其解决方案。

14.2.1 转发器覆盖区域中禁止发起呼叫

在转发器覆盖区域中，无法发起呼叫可能是由于发射天线接收到的 E_c/I_o 太低，或者转发器前向链路增益太高。如果发射天线接收到的 E_c/I_o 低于 −15 dB，就必须调整发射天线的方位，改变发射基站的位置（对于光纤连接的转发器来

说)，或者将转发器转移到一个更合适的位置。另外，我们还可以降低转发器的前向链路增益，以便转发器覆盖区域中导频信号的强度与发射蜂窝单元覆盖区域中的导频信号强度一致，同时转发器的反向链路增益也必须相应地降低。

14.2.2　转发器覆盖区域中的高呼叫丢失率

在转发器覆盖区域中，高呼叫丢失率可能是由于错误的发射蜂窝单元、周围区域中存在干扰或者转发器产生振荡（转发器的正向反馈）引起的。为了纠正错误发射蜂窝问题，我们可以调整转发器发射天线的方位（对于无线连接的转发器来说)，改变发射蜂窝单元的方位（对于光纤连接的转发器来说)，或者将转发器转移到一个更合适的位置。为了避免周围区域中存在干扰，我们必须尽量避免将转发器与其他系统设备配置在一起。我们还必须定位并隔离干扰源，如 TV 信道扩展器、有线 TV 同轴放大器。为了防止出现不需要的正向反馈，我们必须在发射天线和用户终端天线之间保持足够充分的隔离增益（通常添加到转发器前向链路增益的隔离增益为 15 dB)。

14.2.3　转发器覆盖区域中的高移动终端发射功率

在转发器覆盖区域中，高移动终端发射功率可能是由于来自周围区域中的干扰或带内欺骗发射和互调机制引起的。其中，互调机制是由前向链路转发器放大器产生的，之后会通过转发器的天线分离滤波器来反馈到上行链路中。为了解决高移动终端发射功率问题，我们可以定位、消除干扰源，并将转发器转移到一个无干扰的位置，同时利用高质量转发器来消除带内欺骗发射和互调机制。

14.2.4　转发器覆盖区域小于期望值

导致转发器覆盖区域小于期望的覆盖大小的原因有很多，包括转发器天线高度太低、转发器发射链路路径损耗过大、带内欺骗发射和互调机制等。其中，互调机制是由前向链路转发器放大器产生的。如果使用光纤连接的转发器，光纤连接器的不匹配将会导致意外的光纤损耗，从而导致下行链路中的转发器输入功率变小。

解决转发器覆盖区域小于期望的覆盖大小的方法包括：增加转发器的天线高度，将转发器转移到离发射基站更近的位置以减小 NIM（但必须知道基站接收端的噪声冲激)，利用高质量转发器来消除带内欺骗发射和互调机制，利用匹配的光纤连接器取代不匹配的光纤连接器（如果采用的是光纤连接的转发器)。

14.2.5　转发器覆盖区域中频繁的切换

如果转发器从多个基站扇区中接收信号，就可能会在转发器区域中产生频繁的切换。为了避免出现这个问题，我们必须调整转发器发射天线的方位，重新调

整发射天线的位置，并将发射蜂窝单元的数量限制为一个。

14.2.6　无法与其他蜂窝单元进行切换

如果转发器将发射蜂窝单元信号广播到该发射蜂窝单元覆盖区域之外的地方，处于该地方的移动终端就可能无法与其他蜂窝单元进行切换。一个典型的例子就是，转发器将信号广播到离发射蜂窝单元相隔两个蜂窝单元以上距离的地方。如果出现这种情况，就说明相关的相邻蜂窝单元列表不完整。解决这个问题的方法是，修订发射蜂窝单元的相邻蜂窝单元列表和与转发器相邻的蜂窝单元的相邻蜂窝单元列表。

14.2.7　转发器覆盖区域中接入时间过长

导致转发器覆盖区域中接入时间过长的原因可能包括：

1）转发器噪声水平太高（有效转发器噪声指数太高）。

2）上行干扰。

3）相比转发器前向链路增益，转发器反向链路增益设定得太低。

解决转发器覆盖区域中接入时间过长的方法包括：

1）通过将转发器移动到靠近发射蜂窝单元的地方来降低NIM。

2）定位并隔离干扰源，如TV信道扩展器。

3）将转发器反向链路增益提高到5dB以内，或者等于转发器前向链路增益。

14.2.8　发射蜂窝单元的覆盖区域缩减

如果有效发射蜂窝单元接收端的噪声指数由于添加了转发器之后上升，或者出现上行链路带内欺骗发射的话，发射蜂窝单元的覆盖区域就可能会缩减。为了解决这个问题，我们可以将转发器转移到远离发射蜂窝单元的地方，或者降低转发器的反向链路增益。

14.2.9　发射蜂窝单元覆盖区域中的高呼叫丢失率和高移动终端发射功率

如果发射蜂窝单元接收端的噪声指数水平上升得太高或者上行链路的窄带干扰被转发器放大的话，就会在发射蜂窝单元覆盖区域中产生高呼叫丢失率和高移动终端发射功率。为了降低发射蜂窝单元接收端的噪声指数，我们可以通过将转发器转移到远离发射蜂窝单元的地方来提高NIM，或者直接降低转发器的反向链路增益。为了避免产生上行链路窄带干扰，我们可以定位并消除窄带干扰源。

14.2.10 导频污染

如果没有主宰导频，就可能会产生导频污染。如果转发器安装在蜂窝单元之间的重叠区域中（该区域中没有主宰导频），就会产生导频污染；另外，如果转发器在该区域中添加了新的导频，但不是主宰导频，也可能会产生导频污染。

如果转发器位于蜂窝单元之间的重叠区域中，我们必须使用一个窄波束发射天线，并调整天线的方位来实现视距连接。我们还可以降低转发器的前向链路增益和反向链路增益来缩减其覆盖区域，或者修订发射蜂窝单元的相邻蜂窝单元列表和转发器相邻蜂窝单元的相邻蜂窝单元列表。

14.3 转发器部署指导原则

转发器的部署过程可以划分为 3 个阶段：选择转发器的位置、安装转发器和安装之后对转发器进行调整。接下来将详细介绍这 3 个阶段中的通用指导原则。

14.3.1 选择转发器的位置

转发器位置的选择包含以下步骤：

1）定义转发器的覆盖区域。

2）选择发射蜂窝单元，并选择转发器的位置，该位置中发射天线可以与发射基站之间实现视距通信。

3）将转发器和发射基站之间的距离限制在 25 km（无线连接转发器情况）或者 15 km（光纤连接转发器情况），尽管理论上的最大允许距离远高于 25 km。不要将转发器部署在频带（上行和下行）不干净的区域中。

4）调整发射天线的方位，以确保转发器接收天线只接收到一个较强的E_c/I_o（主宰导频）。发射天线的输出端口必须对E_c/I_o进行监控。

14.3.2 转发器的安装

在转发器的安装过程中，必须注意以下事项：

1）确保发射天线和用户终端天线安装在指定的位置。

2）应用相同的预防和必要措施来安装基站天线和线路系统。

3）确保发射天线和用户终端天线之间有足够充分的隔离效应。这种隔离效应必须比转发器的前向增益高至少 15 dB，从而可以确保两个天线之间不存在正向反馈。当连续的波形信号反馈到用户天线时，隔离效应可以通过测量发射天线输出端口接收到的信号来计算得到。典型的隔离效应应该比转发器的前向增益高 65 dB。

14.3.3 转发器安装之后的常用调整措施

在转发器安装完成之后，常用的调整措施包括：

1）在前向链路方向，测量转发器在发射天线输出端接收到的信号功率。

2）计算转发器和基站之间的路径损耗和与转发器输出功率有关的转发器前向链路增益。

3）检查计算得到的转发器前向链路增益是否比计算得到的路径损耗低 5～10 dB，如果不是，将降低转发器的前向链路增益，以满足该标准。

4）计算发射天线和用户终端天线之间的理想隔离效应。

5）测量发射天线和用户终端天线之间的隔离效应，检查该值是否满足隔离要求，如果不满足，将调整天线之间的隔离关系。

6）将转发器的反向链路增益调整到等于或低于前向链路增益。该过程通常与具体的应用有关：在室外应用中，反向链路增益比前向链路增益最多低 5 dB；在室内应用中，反向链路增益可以比前向链路增益最多低 10 dB。

14.4 塔顶放大器

塔顶放大器（TMA）主要由高 Q 值带通滤波器、低噪声放大器（Low Noise Amplifier，LNA）、整流器和 LNA 旁路电路组成。

在很多无线网络中（包括 WCDMA 网络），覆盖半径通常会受到移动终端的最大发射功率和基站接收端灵敏度的限制。基站接收端的灵敏度与基站接收端的噪声指数有关。由于移动终端的发射功率会影响移动终端中电池的使用寿命，所以我们通常会将移动终端的最大发射功率限制在一定的水平。因此，通过降低基站接收端的有效噪声指数来提高覆盖范围，就显得异常重要了。TMA 就可以用来降低基站接收端的有效噪声指数，更重要的是 TMA 可以完全消除基站天线和基站接收端之间的线路损耗。因此，使用 TMA 可以提高链路预算，从而就可以提高蜂窝单元的覆盖半径。最后，需要的基站数量也会随之减少，从而加速网络的商业化进程。目前，商用的 TMA 的可靠性已经得到了很大程度的改进，其物理尺寸也变得越来越小。因此，在如今的无线网络中，TMA 已经得到了广泛应用。

14.4.1 基站噪声指数和链路预算的改善

当在反向链路中插入一个 TMA 之后，TMA、供电线路和基站接收端就级联在一起了，它们相当于一个整体的基站接收器。该基站接收器的有效噪声指数由式（14-5）给出：

$$F_{\mathrm{eff}} = F_{\mathrm{TMA}} + (F_{\mathrm{Cable}} - 1)/G_{\mathrm{TMA}} + (F_{\mathrm{BTS}} - 1)/G_{\mathrm{TMA}}G_{\mathrm{Cable}} \quad (14\text{-}5)$$

式中，F_{TMA}、F_{Cable}和F_{BTS}分别是指 TMA、供电线路和基站接收端的噪声指数；G_{TMA}和G_{Cable}分别是指 TMA 和供电线路的增益。值得注意的是，供电线路的增益是负值，单位为 dB。假设 TMA 的噪声指数和增益分别为 1.7 dB 和 12 dB，基站接收端的噪声指数为 3 dB，那么根据式（14-5）计算得到的有效噪声指数就等于 2.22 dB，该指数比原始的基站接收端噪声指数低 0.78 dB。换句话说，使用 TMA 可以将接收端的灵敏度提高 0.78 dB。

链路预算是计算覆盖半径的基础。在使用 TMA 之前，反向链路预算由式（14-6）给出：

RLB ＝ 移动终端的 EIRP － 基站接收端灵敏度 ＋ 基站天线增益 －
供电线路损耗 － 衰减容限 － 快速衰减容限 ＋ 软切换增益　(14-6)

当 TMA 插入到反向链路中之后，链路预算如式（14-7）所示：

RLB ＝ 移动终端的 EIRP － 基站接收端有效灵敏度 ＋ 基站天线增益 －
衰减容限 － 快速衰减容限 ＋ 软切换增益　(14-7)

比较式（14-6）和式（14-7）可以发现，当TMA 插入到反向链路中之后，基站接收端的灵敏度就被反向链路预算公式中的有效基站接收端灵敏度取代了，同时供电线路损耗也不存在了。因此，采用了 TMA 之后的反向链路预算就比没有采用 TMA 时的反向链路预算大了。利用式（14-5）所举示例中的数据，我们可以得到采用了 TMA 之后的反向链路预算就比没有采用 TMA 时的反向链路预算大 3.78 dB，从而蜂窝单元的覆盖半径就直接扩大了 25%，其覆盖区域就扩大了 56%。

14.4.2　TMA 的应用

TMA 通常用于上行链路受到限制的基站中。对于下行链路受到限制的基站来说，TMA 不能提供任何优势了。实际应用中，TMA 通常用于那些容量很小但是需要很大覆盖范围的基站中，如郊区的基站。在某些特殊的应用环境中（如海上覆盖区域），TMA 通常与下行链路中功率放大器连接在一起，以扩展其正常覆盖范围（功率放大器的正常覆盖半径为 150 km）。从工程实践的角度来看，在使用 TMA 之前，我们必须充分考虑使用 TMA，并检查 TMA 的电气和机械规范，以核查 TMA 是否符合各种要求，同时还要检查系统是否有合适的位置来添加 TMA。

14.5　小结

转发器无条件放大上行链路和下行链路中的各种信号。由于在转发器中没有

信号处理功能，因此转发器将不管信号的来源，直接对其进行放大。使用转发器时必须注意的要点，就是发射基站接收端中由于发射链路中转发器注入的噪声而导致的噪声冲激。这种噪声冲激会导致发射基站的覆盖范围缩减，因此转发器的覆盖范围会随着发射基站的覆盖范围的变化而变化。在部署转发器时，必须考虑的工程实践要素包括覆盖区域、基站降敏效应、发射链路、导频区分、天线隔离、转发器增益设定和切换等。

在WCDMA网络中，可能会出现很多与转发器相关的问题。在转发器覆盖区域中，潜在的问题包括：无法发起呼叫、高呼叫丢失率、高移动终端发射功率、覆盖区域变小、出现频繁的切换、无法与其他蜂窝单元进行切换、接入时间变长等。在发射蜂窝单元的覆盖区域中，潜在的问题包括：高呼叫丢失率、高移动终端发射功率和覆盖区域缩减，因为转发器会导致基站的噪声水平上升。对于其他与转发器相邻的蜂窝单元来说，呼叫丢失率会由于转发器产生的干扰而上升。其他问题还包括呼叫启动故障、导频污染。

解决上面这些问题的方法也有很多，典型的解决方案包括：调整转发器的反向和前向链路增益、重新定位转发器、将转发器转移到更接近或远离发射基站的地方、调整发射天线的方位或高度、提高发射天线和用户终端天线之间的隔离效应、修正发射蜂窝单元和转发器相邻蜂窝单元的相邻蜂窝单元列表等。

当上行链路的覆盖受到限制时，通常利用塔顶放大器来提高覆盖范围，在WCDMA网络中也是如此。塔顶放大器可以降低系统的整体有效噪声指数，更重要的是TMA可以完全消除基站天线和基站接收端之间的线路损耗。因此，使用TMA可以提高链路预算，从而就可以提高蜂窝单元的覆盖半径。

对于下行链路受到限制的基站来说，TMA不能提供任何优势了。在某些特殊的应用环境中（如海上覆盖区域），TMA通常与下行链路中功率放大器连接在一起，以扩展其正常覆盖范围。

第15章 系统间干扰

在同一个区域中可能存在多种采用不同技术的网络，比如UMTS网络和CDMA2000网络可能部署在相同的区域中，而该区域中之前已经部署了GSM网络和PHS网络。由于频段分配方案和天线位置及方位各不相同，因此各个系统之间难免会存在相互干扰。系统间干扰基本上是指一个系统的发射功率会影响工作在相邻频段的其他系统的接收端。因此，系统间干扰可以通过相邻信道的性能来描述。

15.1 相邻信道性能

为了评估相邻信道的性能，首先必须定义各种相邻信道的性能参数。其中，主要包括以下3种相邻信道性能参数：相邻信道干扰功率比（Adjacent Channel Interference Power Ratio，ACIR）、相邻信道泄漏功率比（Adjacent Channel Leakage Power Ratio，ACLR）和相邻信道选择性（Adjacent Channel Selectivity，ACS）。其中，ACIR用于仿真定义，ACLR用于定义发射端性能要求，ACS用于定义接收端性能要求。以上3种参数中，每一种参数都适用于任何频率偏差情况。因此，相邻信道就是指最靠近指定信道的信道，以及第2靠近、第3靠近的信道等。

15.1.1 相邻信道干扰功率比

ACIR的定义是信号发射源（基站或UE）的总发射功率与影响接收端的总干扰功率的比值。ACIR的产生与发射端和接收端的不理想性能有关，通常用于系统性能仿真。

在系统性能仿真过程中，发射端和接收端使用了相邻的射频载体，并假设发射端会在相邻的信道上泄漏一部分功率到接收端，这主要是由于发射端的不理想屏蔽和接收端滤波器的不理想性能引起的。

15.1.2 相邻信道泄漏功率比

由于发射端的非线性原因，发射端的频谱模板就会泄漏进相邻信道。频谱模板泄漏是一个非常重要的系统参数，通常用来在相邻信道上评估各个系统之间共存时的性能。频谱模板泄漏还可以用来设计发射端。对相邻信道泄漏过度的严格

要求会导致UE的发射端在有效性和低复杂性方面受到限制。为了量化频谱模板泄漏，通常将ACLR定义为相邻射频信道上接收端滤波功能完成之后发射功率与测得功率的比值。具体来说，在3GPP规范［1］中，ACLR是指指定信道频率上RRC过滤平均功率与相邻信道上RRC过滤平均功率的比值。表15-1给出了基站ACLR的最低要求，也就是说，ACLR必须高于表15-1中的值。

表15-1　基站ACLR（引用已经过ETSI允许）

第1个载频之下或者最后一个载频之上的基站相邻信道偏差/MHz	ACLR限制/dB
5	45
10	50

类似地，表15-2给出了3GPP规范［2］中指定的UE ACLR最低要求。表15-2中还列出了相邻信道的最低ACLR值，其功率高于−50 dBm。

表15-2　UE的ACLR（引用已经过ETSI允许）

功率类型	相对于指定信道频率的相邻信道频率/MHz	ACLR限制/dB
3	+5或−5	33
3	+10或−10	43
4	+5或−5	33
4	+10或−10	43

3GPP规范［2］还规定交换的瞬间也必须满足最低ACLR要求。最低ACLR要求反映出了利用现有技术可以实现什么样的系统性能，因此最低ACLR要求也可以看成是一种很了不起的技术进步。

15.1.3　相邻信道选择性

由于接收端过滤器的不理想，此接收端可能会从相邻信道接收到干扰。产生干扰的原因是，滤波器一侧相邻信道中的波瓣导致发射干扰源中主波瓣的功率影响到了接收端的性能。

为了量化接收端滤波器对相邻信道中发射信号主波瓣的压缩性能，特别定义了相邻信道选择性（ACS）。ACS是指接收端在其指定信道频率上接收信号的性能测量值（相邻信道中同时伴有调制后的信号），ACS定义为指定信道频率上接收端滤波器衰减与相邻信道上接收端滤波器衰减的比值。表15-3中给出了3GPP规范［1］定义的最低ACS要求。其中，干扰信号与理想信号之间的频率偏差为F_{uw}，干扰信号是一个WCDMA信号，BER不能超过0.1%。

表 15-3　基站的相邻信道选择性（引用已经过 ETSI 允许）

参　数	广域基站	城域基站	局域基站
数据速率/(kbit/s)	12.2	12.2	12.2
理想信号平均功率/dBm	−115	−105	−101
干扰信号平均功率/dBm	−52	−42	−38
F_{uw}频偏（调制后）/MHz	5	5	5

类似地，表 15-4 中给出了 3GPP 规范［2］中指定的 ACS 最低要求。ACS 必须高于表 15-4 中的值，而表 15-5 中的测试参数可以保证 BER 不会超过 0.1%。

表 15-4　UE 的相邻信道选择性（引用已经过 ETSI 允许）

功率类型	单　位	ACS
3	dB	33
4	dB	43

表 15-5　相邻信道选择性的测试参数（引用已经过 ETSI 允许）

参　数	单　位	数　值
DPCH _ Ec	dBm/3.84 MHz	−103
$\hat{I}_{or}$	dBm/3.84 MHz	−92.7
I_{oac}平均功率（调制后）	dBm	−52
F_{uw}频偏	MHz	+5 或−5
UE 发射平均功率	dBm	20（功率等级 3） 18（功率等级 4）

注意，在表 15-5 中，$\hat{I}_{or}$是指接收到的下行信号功率谱密度，该值在 UE 天线连接器中进行测量；I_{oac}信号（调制后）由若干个公共信道（用于测试）和 16 个专用数据信道组成。

15.1.4　ACIR、ACLR 和 ACS 之间的关系

根据前面的定义，很明显，ACIR 与 ACLR 和 ACS 有关。具体来说就是，ACIR 是 ACLR 和 ACS 的函数，如式（15-1）所示：

$$1/\mathrm{ACIR} = 1/\mathrm{ACLR} + 1/\mathrm{ACS} \tag{15-1}$$

在上行链路中，UE 发射端通常会产生上行干扰，因为 $ACLR_{UE}$比 $ACS_{Node\ B}$小很多。这就说明 ACIR 几乎等于上行的 $ACLR_{UE}$，因此上行干扰仿真就是 UE ACLR 性能的仿真。

在下行链路中，产生限制的因素通常是UE的接收端，UE接收端会产生下行干扰，因为$ACLR_{UE}$比$ACS_{Node\ B}$小很多。这就说明ACIR几乎等于下行的$ACLR_{UE}$，因此下行干扰仿真就基本上是UE ACS性能的仿真。

当多种系统的基站共存时，各个系统的基站发射功率将会影响到其他系统地基站接收端。在这种情况下，基站发射端的ACLR和基站接收端的ACS都会产生系统间干扰。

15.2 UMTS和CDMA2000之间的干扰

假设UMTS和CDMA2000部署在相邻的频段上。例如，UMTS中上行链路使用1920～1935 MHz频段，下行链路使用2110～2125 MHz频段；而CD-MA2000中上行链路使用1935～1950 MHz频段，下行链路使用2125～2140 MHz频段。如图15-1所示，UMTS 2100 FDD和CDMA2000之间的潜在干扰场景包括：

1）场景1：UMTS UE的发射功率会影响相邻频段CDMA2000基站的接收端。

2）场景2：CDMA2000移动终端的发射功率会影响相邻频段UMTS基站的接收端。

3）场景3：UMTS基站的发射功率会影响相邻频段CDMA2000移动终端的接收端。

4）场景4：CDMA2000基站的发射功率会影响相邻频段UMTS UE的接收端。

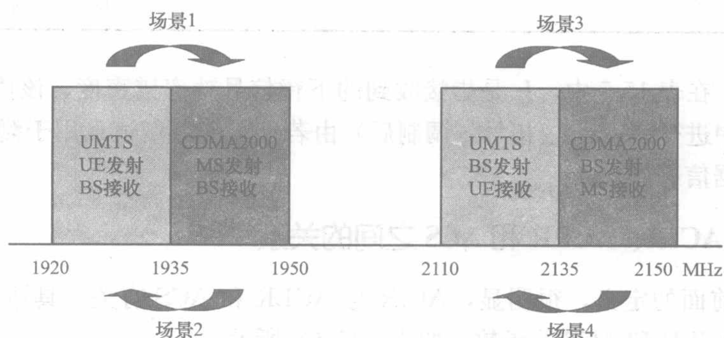


图15-1 UMTS系统和CDMA2000系统之间的干扰

以上4种场景具有一个共同的特点，就是一个系统的发射功率会影响工作在相邻频段中其他系统的接收端。因此，这种干扰可以通过相邻信道的性能来进行评估。

图 15-2 阐述了一个发射端对相邻频段接收端的影响示意图。例如，CDMA2000 基站对相邻频段 UMTS UE 接收端的影响包括以下两种（假设只有一个载频）：水平矩形表示的干扰和垂直矩形表示的干扰。其中，水平矩形表示 CDMA2000 基站的带外发射信号进入了 UMTS UE 的接收端，UMTS UE 的接收端中的滤波器无法削弱这种干扰，从而会导致 UE 接收端的性能产生降敏；垂直矩形表示 CDMA2000 基站载频功率被 UMTS UE 接收端的滤波器削弱了，削弱后的载频功率会导致过载或在 UMTS UE 的接收端产生阻塞。

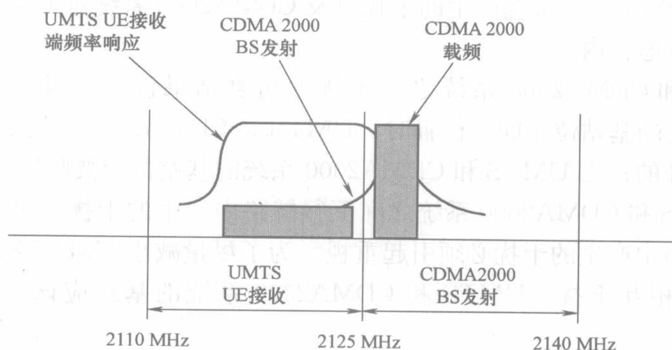


图 15-2　CDMA2000 基站对 UMTS UE（FDD）的干扰

如果存在多个 CDMA2000 载频，那么在 UMTS UE 的接收频段内可能会产生一个三阶互调乘积。

如前所述，ACIR 是 ACLR 和 ACS 的函数。在该示例中，CDMA2000 基站会对 UMTS UE 产生影响。因此，ACIR 是 CDMA2000 基站 ACLR 和 UMTS UE ACS 的函数。前面所介绍的 4 种干扰场景的影响可以通过一个仿真过程来分析。

通常，采用 Monte Carlo 仿真模型来研究 UMTS 2100 FDD 和 CDMA2000（这两个系统工作在相邻的频段上）之间的相互干扰。在 Monte Carlo 仿真模型中，可以发现 UMTS 的下行链路容量和上行链路容量之间以及 CDMA2000 系统的下行链路容量和上行链路容量之间存在的相互干扰。

在 UMTS 和 CDMA2000 共存的区域中，UMTS 和 CDMA2000 系统的基站部署结构可能不太相同，其基站位置分布可能不尽相同。从干扰的角度来看，最好的情况是 UMTS 和 CDMA2000 系统的基站位于同一位置，最坏的情况是 UMTS 和 CDMA2000 系统的基站位于彼此蜂窝单元的边缘上。因此，在仿真过程中，只需要模拟以上这两种情况就可以了。

如果 UMTS 和 CDMA2000 系统的基站位于同一位置，那么 UMTS 基站就与 CDMA2000 系统的基站工作在相邻的频段上。在这种情况下就不存在远近效

应问题，而且相互之间的干扰也是最小的。因此，通常建议工作于相邻频段的系统共享相同的天线塔架，以避免产生相互干扰，并降低成本。在实际应用中，将天线安放在同一地点是一个普遍采用的方法，该方法可以降低相邻频段之间的干扰。

如果UMTS和CDMA2000系统的基站位于彼此蜂窝单元的边缘上，那么当UMTS UE远离UMTS（CDMA2000系统）基站并接近CDMA2000系统（UMTS）基站时，就会产生远近效应问题。为了准确评估对容量产生的影响，UMTS对CDMA2000系统产生的干扰以及CDMA2000系统对UMTS产生的干扰必须同时考虑在内。

UMTS和CDMA2000系统之间干扰的仿真结果说明，当UMTS和CDMA2000系统的基站位于同一位置时，UMTS和CDMA2000系统之间的干扰是可以忽略不计的；当UMTS和CDMA2000系统的基站位于彼此蜂窝单元的边缘上时，UMTS和CDMA2000系统之间下行链路中产生的干扰也可以不予考虑，但在上行链路中产生的干扰必须引起重视。为了尽量减小UMTS和CDMA2000系统之间的相互干扰，UMTS和CDMA2000系统的基站应该尽量位于同一位置。

15.3 UMTS和PHS之间的干扰

假设PHS工作在1900～1920 MHz频段（实际上在某些国家就是采用该频段），同时还假设UMTS的上行链路工作在1920～1935 MHz频段。如果UMTS和PHS系统共存于某个城市中，那么就会存在潜在的相互干扰问题（见图15-3），其干扰场景概括如下：

1）场景1：PHS基站发射端对UMTS基站接收端产生影响。

2）场景2：PHS移动终端发射端对UMTS基站接收端产生影响。

3）场景3：UMTS UE发射端对PHS基站接收端产生影响。

4）场景4：UMTS UE发射端对PHS移动终端接收端产生影响。

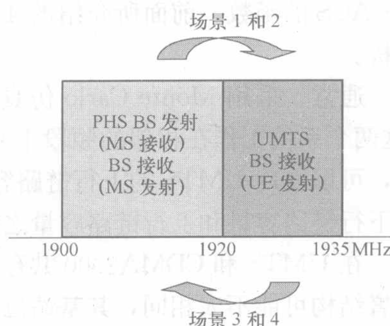


图15-3 UMTS和PHS之间的干扰

在这4种干扰场景中，第3种和第4种干扰场景不很重要，在此不予讨论。第1种干扰场景中的干扰最关键，可以通过分析法来进行研究。下面将根据UMTS FDD和PHS的发射和接收特性的仿真结果（两个系统的频偏约为[2，3]），来详细讨论第1种和第2种干扰场景。

15.3.1　PHS 基站发射端和 UMTS 基站接收端之间的干扰分析

如果 UMTS FDD 系统和 PHS 位于相同的区域中，PHS 基站的发射端会对 UMTS 的接收端产生干扰，因为它们的工作频段太接近了。但是，UMTS 基站的发射端不会对 PHS 基站的接收端产生干扰，因为它们的工作频段相距很远。PHS 基站的发射端对 UMTS 接收端产生的干扰会导致 UMTS 的性能（包括话音质量、覆盖范围和容量）下降。为了避免 UMTS 基站接收端出现降敏效应，PHS 和 UTMS 的基站天线之间的隔离必须充分大。

干扰产生的影响与 PHS 和 UMTS 之间的频段间隔有关，频段间隔是指频段之间所需隔离间距的大小。很明显，频段之间的间距越大，所需的隔离就越小。

上面的分析过程利用了标准定义的设备规范。但是，实际基站设备的性能通常超出了标准中定义的规范，因此所需的隔离就比上面分析中得到的隔离小很多，从而该分析过程可以认为是针对最坏情况的分析。

通常，足够大的隔离可以通过 PHS 和 UMTS 基站天线的空间隔离技术来实现，在空间隔离技术中，通常利用了 PHS 基站发射端和 UMTS 基站接收端的滤波器衰减原理。这种分析过程主要利用了理想的天线隔离原理。

1. 隔离标准

图 15-4 在概念上给出了两种基站之间的相互干扰情况。干扰源一侧的基站发射端会降低受干扰一侧基站接收端的性能，因此在两种基站之间就需要进行隔离。这种隔离是指干扰源一侧的基站发射端天线连接器与受干扰一侧基站接收端天线连接器之间的路径损耗，这种损耗包括空中传输损耗、天线增益损耗和基站的线路损耗。

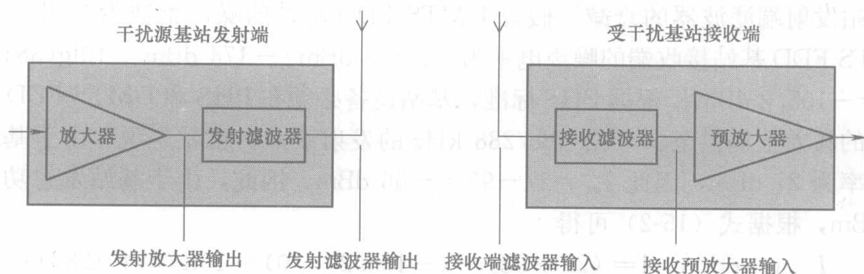


图 15-4　两种共存基站之间的干扰

隔离要求是根据以下 4 个标准来计算的[4]：

1）标准 1：干扰源一侧发射端产生的欺骗发射功率（该功率被受干扰的系统接收到）比接收端的噪声水平低 10 dB。

2）标准 2：受干扰系统收到的总干扰载频功率比接收端放大器的 1 dB 压缩

点低 5 dB。

3）标准 3：受干扰系统产生的每个三阶互调乘积（Inter-Modulation Product，IMP）以及干扰载频导致的每个三阶互调乘积比接收端放大器的噪声水平低 10 dB。

4）标准 4：被受干扰系统接收端滤波器削弱的总干扰载频功率比接收端的噪声水平低 10 dB，以防止接收端产生降敏或阻塞。

对于 UMTS 基站的接收端来说，标准 4 决定了标准 2。也就是说，如果隔离条件满足标准 4，那么它同时也满足标准 2，因此只需考虑标准 1、标准 3 和标准 4。

2. 欺骗性发射的隔离要求

为了计算满足标准 1 的隔离，我们必须知道以下几点：

1）受影响基站天线连接器的可接收干扰水平 I_{aff}；

2）在干扰源基站的天线端口处产生的干扰水平 I_{int}（该干扰会进入受影响基站的接收频段）；

3）带宽调整因子（Bandwidth Adjustment Factor，BWAF）：受影响基站载频宽度与干扰源基站欺骗射频测量带宽的比值。

根据之前的信息，满足标准 1 的理想隔离由式（15-2）给出：

$$L_criterion_1 = I_{int} - I_{aff} + BWAF \tag{15-2}$$

式中，I_{int} 由式（15-3）给出：

$$I_{int} = P_{TX_amp} + ICR_{TX_amp} - L_{TX_rej} \tag{15-3}$$

式中，P_{TX_amp} 是指发射端放大器输出端的干扰源基站发射端功率，ICR_{TX_amp} 是指发射端放大器输出端的干扰对载频比，L_{TX_rej} 是指受干扰基站接收频段上干扰源基站发射端滤波器的衰减。假设 UMTS FDD 基站的噪声指数为 3 dB，那么 UMTS FDD 基站接收端的噪声电平为 −105.2 dBm [−174 dBm + 10lg(384000) + 3 = −105.2 dBm]。根据 PHS 标准，基站设备必须在 PHS 和 UMTS FDD 频段之间的频差上提供至少 −93 dBc/288 kHz 的发射衰减。也就是说，由于基站发射功率为 27 dBm，因此 I_{int} = 27 − 93 = −66 dBm。因此，由于基站发射功率为 27 dBm，根据式（15-2）可得

$$\begin{aligned} L_criterion_1 &= (27-93)-(-105.2-10)+10\lg(3840/288) \\ &= 60.4\ \text{dB} \end{aligned} \tag{15-4}$$

3. 三阶互调的隔离要求

为了计算满足标准 3 的隔离，我们必须知道受影响的接收端放大器与受影响的系统滤波器衰减之间的三阶截距。三阶互调乘积和放大器的三阶截距之间的关系由式（15-5）给出：

$$IMP_3 = 3P_{in_RX} - 2 \times TOI \tag{15-5}$$

式中，IMP_3 是指三阶互调乘积，P_{in_RX} 是指受影响的系统接收端放大器的输入功率，TOI 是指受影响的系统接收端放大器的三阶截距。满足标准 3 的隔离要求由式（15-6）给出：

$$L_criterion_3 = P_{TX_ant} - P_{in_RX_ant} \tag{15-6}$$

式中，P_{TX_ant} 是指在干扰源基站天线连接器上的发射载频功率，$P_{in_RX_ant}$ 是指受影响基站天线连接器（接收端滤波器之前）上接收到的载频功率。假设接收端滤波器的插入损耗为 2 dB（例如 $P_{in_RX_ant} - P_{in_RX} = 2$ dB），结合式（15-5）和式（15-6）可得

$$L_criterion_3 = P_{TX_ant} - [(IMP_3 + 2 \times TOI)/3 + 2] \tag{15-7}$$

根据标准 1 中的规范，UMTS FDD 系统三阶截距的估计值为 −22 dBm。利用式（15-7），并假设 PHS 基站的发射功率为 27 dBm，满足标准 3 的隔离为

$$\begin{aligned} L_criterion_3 &= 27 - [(-105.2 - 10 - 2 \times 22)/3 + 2] \\ &= 78.1 \text{ dB} \end{aligned} \tag{15-8}$$

4. 避免产生载频过载时的隔离要求

为了计算满足标准 4 的隔离，我们必须知道射频、中间频率（Intermediate Frequency，IF）和 UMTS 基站接收端基带频率的总滤波器抑制性能。理想的隔离由式（15-9）给出：

$$L_criterion_4 = P_{total_TX_ant} - P_{total_aff_ant} \tag{15-9}$$

式中，$P_{total_TX_ant}$ 是指基站天线端口处的总干扰源基站载频功率，$P_{total_aff_ant}$ 是指受影响基站的天线端口处可接受的干扰水平。

UMTS 标准中的阻塞要求并没有指定频段 I（即 2100 MHz 频段）中的窄带抑制性能测试方法。假定为频段 II（即 1900 MHz 频段）指定的窄带阻塞要求（UMTS 系统中心频率的偏差为 2.7 MHz）在 UMTS FDD 设备中得到了满足，那么 UMTS 基站接收端滤波器应该在 UMTS FDD 系统和 PHS 之间的频率偏差上提供 60 dB 的衰减。利用式（15-9），并假设 UMTS 基站接收端滤波器的衰减为 60 dB（$P_{total_aff_ant}$ = 可接受干扰 + 60），则可得

$$L_criterion_4 = 27 - (-105.2 - 10 + 60) = 82.2 \text{ dB} \tag{15-10}$$

5. 天线隔离机制计算

根据前面的计算过程，满足所有 4 种干扰标准的隔离为 82.2 dB，如标准 4 中所述。但必须注意的是，该隔离值是根据接收端抑制规范来计算的，抑制规范来自 UMTS 标准 [1]。如果实际的 UMTS FDD 设备特性比那些标准中列出的设备性能好，那么基站隔离要求就可以得到改善。

隔离机制可以通过干扰源系统发射天线和受干扰系统接收天线之间的空间间隔来实现，或者通过在发射端和接收端之间添加滤波器来实现。空间天线间隔可以是水平的、垂直的或倾斜的。

在水平间隔中，隔离机制由式（15-11）给出：

$$L_{h_isolation}=22+20\lg(D/\lambda)-G_{TX}-G_{RX} \tag{15-11}$$

式中，D 是指天线间距，单位为m；λ 是指波长，单位为m；G_{TX}和G_{RX}分别指发射天线和接收天线的有效天线增益（包括线路损耗）。必须注意的是，这里的天线增益是指两个天线中心连接线上的天线增益。当两个天线相互指向对方时，其天线增益等于天线的主瓣增益减去线路损耗；当两个天线指向同一方向时，大多数商业基站天线的有效天线增益总和通常都低于0 dB。

在垂直间隔中，隔离机制由式（15-12）给出：

$$L_{v_isolation}=28+40\lg(D/\lambda) \tag{15-12}$$

在倾斜间隔中，隔离机制由式（15-13）给出：

$$L_{s_isolation}=(L_{v_isolation}-L_{h_isolation})(\varphi/90°)+L_{h_isolation} \tag{15-13}$$

式中，φ 是指水平线与连接发射天线中心和接收天线中心的线之间的夹角。

下面举例来分析。假设隔离要求为82.2 dB，总的有效天线增益为0。如果通过水平间隔来实现隔离，那么根据式（15-11），理想的间隔为1023λ；如果通过垂直间隔来实现，那么根据式（15-12），理想的间隔为23λ。对于1920 MHz频段的PHS载频，波长约为0.16 m。因此，水平间隔时的天线间隔要求为163 m，垂直间隔时的天线间隔要求为3.7 m。

15.3.2 UMTS和PHS之间干扰的仿真

15.3.1节中讨论过的分析法是以情况最坏的干扰场景为基础的，其优势是分析过程可以很容易完成，无需复杂的计算，而且如果分析的结果得到应用的话，可以保证不存在干扰。但是，分析结果通常非常保守，不能反映出真实的情况。例如，如果PHS基站和UMTS基站处于相同地点时，163 m长的水平天线间隔是不可能实现的。在实际的工程实践中，为了反映出实际的情况，通常会对仿真过程进行改进，以得到更多实用的结果。

在仿真过程中，通常利用快照来捕获各个独立瞬间的真实照片。在每次快照中，场景都是通过随机变量（如基站位置）来建立的，这些变量描述了干扰现象的特性。快照的次数越多，就可以得到越准确的参数统计特性。在仿真过程中，我们可以得到如下参数：

1）受影响接收端接收到一个满足要求的C/I的几率；

2）移动终端发射功率的分布概率；

3）对系统规划技术的影响；

4）对发射端和接收端性能的影响；

5）系统容量性能；

6）系统软切换性能。

大多数情况下，系统容量性能是指用户在仿真过程希望得到的东西。

3GPP TR 25.942 [5] 规范和 CWTS 文件 [6] 中给出了仿真的条件和方法。仿真结果说明，由于 PHS 移动终端（PS）对 UMTS 基站产生的干扰而导致的 UMTS 容量损耗是很小的，但是由于 PHS 基站（CS）对 UMTS 基站产生的干扰而导致的 UMTS 容量损耗则相对很大。因此，仿真结果与分析结果是一致的。

15.4　UMTS 和 GSM 之间的干扰

UMTS 和 GSM 之间的干扰通常发生在 UMTS 2100 FDD 和 GSM 1800 系统之间，其中最主要的是 GSM 1800 基站发射端对 UMTS 基站接收端的干扰。由于载频间隔很大，因此不太可能会出现其他类型的干扰场景，从而在此不作讨论。

假设 GSM 1800 系统中下行链路的工作频段为 1840～1850 MHz，UMTS 中上行链路的工作频段为 1920～1935 MHz。GSM 1800 和 UMTS FDD 系统的发射和接收特性在参考文献 [7] 和 [1] 中给出了描述。15.3.1 节中描述的隔离标准同样适用于 UMTS 和 GSM 1800 系统之间的干扰分析。

15.4.1　欺骗性发射的隔离要求

假设 UMTS FDD 基站的噪声指数为 3 dB，UMTS FDD 基站接收端的噪声电平为－105.2 dB。根据标准 1，UMTS 基站从干扰 GSM 1800 基站接收到的欺骗性发射功率，应该比 UMTS FDD 基站接收端的噪声电平低 10 dB。根据 3GPP 规范 [7]，GSM 基站发射端必须在 GSM 1800 系统和 UMTS FDD 工作频段之间的频率偏差上，提供至少－30 dBm/3 MHz 的发射衰减。规范还指出，如果这两个系统还与 3G 系统共存，那么发射衰减的要求就变成了－96 dBm/100 kHz，因此，满足标准 1 的隔离要求就变成

$$\begin{aligned} L_\text{criterion}_1 &= -96-(-105.2-10)+10\lg(3.84/0.1) \\ &= 35\ \text{dB} \end{aligned} \tag{15-14}$$

15.4.2　三阶互调的隔离要求

在 15.3.1 节中我们讨论过，UMTS FDD 基站接收端的 TOI 为－22 dBm。假设 GSM 1800 系统载频在 UMTS 接收端的前端滤波器中被压缩了 60 dB，那么满足标准 3 的理想隔离为

$$\begin{aligned} L_\text{criterion}_3 &= (43-60)-[(-105.2-10-2\times 22)/3+2] \\ &= 35.4\ \text{dB} \end{aligned} \tag{15-15}$$

15.4.3 载频过载时的隔离要求

UMTS FDD标准的阻塞要求说明，当与GSM 1800基站共存时，UMTS FDD基站接收端（包括射频、IF和基带滤波器）应该在GSM 1800基站的发射频段内提供至少114 dB的抑制性能。因此，为了避免接收端出现过载，隔离要求为

$$L_criterion_4 = (43-114)-(-105.2-10) = 44.2\ \text{dB} \quad (15\text{-}16)$$

15.4.4 整体隔离要求

前面的计算过程说明，如果GSM基站的发射屏蔽与一般的GSM欺骗发射限制一致的话，满足所有4种干扰缓解标准的隔离就为86.3 dB，如标准1中所述。为了与3G系统共存，GSM基站发射屏蔽必须满足更加严格的GSM欺骗发射限制条件。在这种情况下，满足所有4种干扰缓解标准的隔离就变成了86.3 dB，如标准4中所述。

15.5 小结

对于工作在相邻频段的UMTS 2100系统和CDMA2000来说，仿真结果表明，这两种系统处于同一地点时，UMTS和CDMA2000下行和上行之间的相互干扰是可以忽略不计的。因此建议工作在相邻频段的系统天线最好安装在一起，以使基站和移动终端之间的相互干扰最小化；同时还可以使两个基站天线之间保持充分的隔离，以避免基站之间的干扰。对于最坏的情况（即UMTS和CD-MA2000的基站位于彼此蜂窝单元的边缘上），仿真结果表明下行链路中的相互干扰可以不予考虑，但上行链路中产生的干扰必须引起重视。

对于共存的UMTS和PHS来说，由于PHS移动终端对UMTS基站产生干扰而导致的UMTS容量损耗是很小的，但是由于PHS基站（CS）对UMTS基站产生的干扰而导致的UMTS容量损耗则相对很大。

对于共存的UMTS和GSM 1800系统来说，最主要的影响是GSM 1800基站发射端对UMTS基站接收端的干扰。

本章主要讨论了UMTS和GSM 1800系统基站之间天线隔离的指导原则，以及UMTS基站和PHS基站之间的隔离指导原则。最后确定的天线隔离机制是由UMTS基站接收端的技术规范和接收端滤波器抑制性能来描述的。如果实际的UMTS基站接收端参数都给定了，那么天线隔离参数就可以根据接收端参数来计算得到。有很多方法可以实现系统间的充分隔离，其中最典型的就是对共存基站的天线进行空间隔离，并在干扰源发射端和受影响的接收端之间部署滤波器。

参 考 文 献

[1] 3GPP TS 25. 104，v6. 3. 0. Base Station (BASE STATION) radio transmission and reception (FDD)，Release 6.

[2] 3GPP TS 25. 101，v3. 16. 0. User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)，Release 99.

[3] Personal Handy Phone System Standard，RCR-STD28，Research and Development for Radio System，1993.

[4] Handbook of CDMA system design，engineering，and optimization，edited by Kyoung Il Kim，Prentice Hall PTR，Upper Saddle River，NJ.

[5] 3GPP TS 25. 942，v6. 3. 0. Radio Frequency system scenarios，Release 6.

[6] CWTS PHS-cdma2000 Ad-hoc Group. Analysis and simulation of intersystem interference between PHS and WCDMA systems.

[7] 3GPP TS 05. 05，v8. 17. 0. Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network；Radio Transmission and Reception，Release 99.

第 16 章　WCDMA 和 CDMA2000 之间的比较

WCDMA 系统和 CDMA2000 系统是目前最成熟的 3G 技术，采用这两种技术的无线网络已经在全球范围内进行了部署。本章将对 WCDMA 系统和 CDMA2000 系统进行比较，并讨论它们之间的相似点和区别。

16.1　WCDMA 和 CDMA2000 之间的相似点

WCDMA 系统和 CDMA2000 系统在很多方面都有相似的特点，包括物理层概念、物理层工作流程、功率控制、基于物理信道的各种功能以及各种专业术语等。

16.1.1　物理层概念

在 WCDMA 系统和 CDMA2000 系统中，都使用了直接序列 CDMA 技术。在前向链路和反向链路中，WCDMA 系统和 CDMA2000 系统还使用了相似的调制和信道编码技术，这两种系统都使用 QPSK 调制技术。在编码中，WCDMA 系统和 CDMA2000 系统都使用卷积编码和 Turbo 编码技术。另外，WCDMA 系统和 CDMA2000 系统都使用软切换、更软切换和系统间切换流程；在接收方面，这两种系统都使用了斜率接收技术。

16.1.2　物理层工作流程

WCDMA 系统和 CDMA2000 系统具有相似的寻呼流程。CDMA2000 系统中的快速寻呼信道相当于 WCDMA 系统中的 PICH 信道，这两种信道都可以用来延长 MS/UE 的待机时间。CDMA2000 系统中的接入转换相当于 WCDMA 系统中的蜂窝单元重选。

16.1.3　信道化及扩频概念

WCDMA 系统和 CDMA2000 系统都在下行链路中使用基于正交编码的信道化技术来区分用户。在 CDMA2000 系统中，总共有 128 种 Walsh 码可以在 1.25 MHz 的带宽内用于下行链路；在 WCDMA 系统中，总共有 512 种 OVSF 码可以在 5 MHz 的带宽内用于下行链路。在扰码方面，CDMA2000 系统使用了伪随机

(PN) 序列，而 WCDMA 系统则使用了 Gold 码。

16.1.4　功率控制

WCDMA 系统和 CDMA2000 系统都使用了快速功率控制技术，以确保最高的功率利用率。在 WCDMA 系统中，DPCCH 信道负责承载上行链路和下行链路的功率控制比特；在 CDMA2000 系统中，R-PICH 信道负责承载上行链路的功率控制比特，FCH/DCCH/CPCCH 信道负责承载下行链路的功率控制比特。

16.1.5　具有相似功能的物理信道

WCDMA 系统和 CDMA2000 系统中某些物理信道具有相似的功能，这些物理信道如表 16-1 所示。

表 16-1　具有相似功能的物理信道

	WCDMA 系统	CDMA2000 系统
下行链路	公共导频信道（CPICH）	前向导频信道（F-PICH）
	寻呼指示信道（PICH）	前向快速寻呼信道（F-QPCH）
	同步信道（SCH）	前向同步信道（F-SYNCH）
	专用物理信道（DPCH）	前向基础信道（F-FCH）
	物理下行共享信道（PDSCH）	前向补充信道（F-SCH）
上行链路	物理公共分组信道（PCPCH）	反向增强接入信道（R-EACH）
	专用物理控制信道（DPCCH）	反向专用控制信道（R-DCCH）
	专用物理数据信道（DPDCH）	反向基础信道和反向补充信道（R-FCH 和 R-SCH）

16.1.6　相似功能的不同专业术语

在很多地方，WCDMA 系统和 CDMA2000 系统对相似的功能使用的专业术语不大相同，而有些相同的概念也使用了不同的名称，表 16-2 给出了这些专业术语之间的对比。

表 16-2　专业术语之间的对比

WCDMA 系统	CDMA2000 系统
Node B	基本接收子系统（BTS）
用户设备（UE）	移动站（Mobile Station，MS）
UMTS 地面 RAN（UTRAN）	BTS-BBC
无线网络控制器（RNC）	基站控制器（BSC）
扰码	PN 码

（续）

WCDMA 系统	CDMA2000 系统
OVSF码	Walsh码
软切换	软转换
更软切换	更软转换
非接入层（NAS）	MSC/VLR/HLR网络
接入层（AS）	MS-BBS-CN接口
Iu接口	A接口
Iub接口	Abis接口
Iur接口	BSC-BSC接口
Uu接口	空中接口

16.2　WCDMA和CDMA2000之间的区别

尽管WCDMA系统和CDMA2000系统存在很多相似的地方，但它们之间还是有很大区别的，如网络同步、射频特性、信道结构、开销、寻呼信道工作流程、频间切换以及系统间切换。

16.2.1　网络同步

在WCDMA系统中，在FDD模式下使用了异步模式，在TDD模式下使用了同步模式。对于FDD来说，每个Node B都具有一个独立的时间参考值，因此在实现网络同步时与GPS卫星无关。

CDMA2000系统中使用了同步模式，而且使用了一个与网络同步的公共时间参考值，因此在实现网络同步时必须依靠GPS卫星。

16.2.2　射频特性

WCDMA系统的工作频段为IMT-2000频段。WCDMA系统的载频宽度为5 MHz，码片速率为3.84 Mcps，频谱利用率为0.817 chips/sec/Hz。

CDMA2000系统的工作频段为NMT、蜂窝、PCS和IMT-2000频段。在蜂窝频段中，CDMA2000系统的载频宽度为1.23 MHz；在PCS频段中，CDMA2000系统的载频宽度为1.25 MHz。CDMA2000系统的码片速率为1.2288 Mcps，频谱利用率为0.999 chips/sec/Hz。

16.2.3　信道结构

WCDMA系统中的物理信道很少，但是它具有比CDMA2000系统更复杂的

信道结构。在 WCDMA 系统中，逻辑信道先映射到传输信道上，然后再映射到物理信道中。UE 首先需要一个同步信道，之后还需要一个导频信道。

对于 CDMA2000 系统来说，逻辑信道直接映射到物理信道中，移动终端首先需要一个导频信道。

16.2.4　开销

与 CDMA2000 系统相比，WCDMA 系统使用了更多的开销比特，表 16-3 给出了开销比特之间的比较。

表 16-3　WCDMA 系统和 CDMA2000 系统之间的信道开销比较

WCDMA 系统	CDMA2000 系统
无论数据信道的活动状如何，控制信道（DPCCH）比特始终存在	带内信令（信令信息与话音或数据流是分开的）
AMR 话音合成器的速率信息比特作为开销比特发送	使用盲速率检测，同时保存开销比特
功率控制比特作为开销比特发送，每秒 1500 次	功率控制比特通过穿孔信息比特发送，速率为 800 bit/s
信令消息通常很长	信令消息相对较短

16.2.5　寻呼操作

在 WCDMA 系统中，寻呼指示信道（PICH）始终与 SCCPCH 信道有关。UE 在寻呼时机内被“唤醒”，以监控 PICH 信道上的寻呼指示。

在 CDMA2000 系统中，移动终端被“唤醒”之后将接收 QPCH 信道指示比特，然后返回到休眠状态，并处理后台信息；用于空闲切换的相邻蜂窝单元搜索过程也是在后台进行处理的，因此移动终端的待机时间比 UE 长。

16.2.6　频间硬切换和 RAT 间硬切换

如果 UE 只有一个接收端，那么 WCDMA 系统将利用压缩模式来实现频间和 RAT 间硬切换；而 CDMA2000 系统没有使用压缩模式，取而代之的是候选频率搜索消息和一般通用的切换方向消息。

16.3　小结

本章主要从技术的角度对 WCDMA 系统和 CDMA2000 系统进行了比较，主要讨论这两种系统之间的相似性和区别。WCDMA 系统和 CDMA2000 系统之间的相似点包括物理层概念、物理层工作流程、功率控制、基于物理信道的各种功

能以及各种专业术语等；WCDMA 系统和 CDMA2000 系统之间的区别包括网络同步、射频特性、信道结构、开销、寻呼信道工作流程、频间切换以及系统间切换。

附录　英文缩略语对照表

16-QAM	16-Quadrature Amplitude Modulation	16 相正交幅度调制
1x-EVDO	1x Evolution Data Optimized	第 1 代演进数据优化
3G	3rd Generation	第 3 代移动通信
3GPP	Third Generation Partnership Project	第 3 代移动通信伙伴计划
AC	Access Class	接入类别
ACIF	Australian Communication Industry Forum	澳大利亚通信行业论坛
ACIR	Adjacent Channel Interference Power Ratio	相邻信道干扰功率比
ACK	Acknowledgement	确认
ACLR	Adjacent Channel Leakage Power Ratio	相邻信道泄漏功率比
ACS	Adjacent Channel Selectivity	相邻信道选择性
AI	Acquisition Indicator	捕获指示
AICH	Acquisition Indicator CHannel	捕获指示信道
AM	Acknowledged Mode	确认模式
AMD	Acknowledged Mode Data	确认模式数据
AMR	Adaptive Multi-Rate	自适应多速率
AN	Access Network	接入网
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number	绝对射频信道编号
ARIB	Association of Radio Industry and Business	（日本）无线工业和商业协会
ARQ	Automatic Retransmission Request	自动重传请求
AS	Access Slot	接入时隙
AS	Access Stratum	接入层
ASC	Access Service Class	接入业务类别
ASN. 1	Abstract Syntax Notation One	抽象语言记法 1
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solution	（北美）电信行业计划联盟
AuC	Authentication Center	认证中心（或鉴权中心）
AWGN	Additive White Gaussian Noise	相加性白色高斯噪声
BCCH	Broadcast Control CHannel	广播控制信道
BCH	Broadcast CHannel	广播信道
BER	Bite Error Rate	误码率

（续）

BLER	Block Error Rate	误块率
BMC	Broadcast/Multicast Control	广播/多播控制
BPSK	Binary Phase Shift Keying	二进制相移键控
BS	Base Station	基站
BSC	Base Station Controller	基站控制器
BSIC	Base Station Identification Codes	基站识别码
BTS	Base Transceiver Subsystem	基本收发器子系统
BTSD	Base Station Desensitization	基站降敏效应
BWAF	Bandwidth Adjustment Factor	带宽调整因子
C-RNTI	Cell Radio Network Temporary Identifier	蜂窝射频网络临时标识符
CBS DRX	Cell Broadcast Service Discrete Receiving	蜂窝单元广播业务分散接收
CC	Call Control	呼叫控制
CCCH	Common Control CHannel	公共控制信道
CCITT	Consultative Committee on International Telephone and Telegraph	国际电话电报咨询委员会
CCPCH	Common Control Physical CHannel	公共控制物理信道
CCSA	China Communications Standards Association	中国通信标准化协会
CCTrCh	Coded Composite Transport Channel	编码复用传输信道
CDF	Cumulative Distribution Function	累积分布功能
CDMA	Code Division Multiple Access	码分多址
CFN	Connection Frame Number	连接帧编号
CH	Conditional on History	条件旧值
C/I	Carrier-to-Interference Ratio	载波对干扰比
CIO	Cell Individual Offset	蜂窝单元个体偏差
CK	Cipher Key	密钥
CM	Connection Management	连接管理
CN	Core Network	核心网
CPCH	Common Packet Channel	公共分组信道
CPICH	Common Pilot CHannel	公共导频信道
CQI	Channel Quality Indicator	信道质量指示
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
CRCI	Cyclic Redundancy Check Indicator	循环冗余校验指示
CS	Circuit-Switch	电路交换

（续）

CTCH	Common Traffic Channel	公共流量信道
CV	Conditional on Value	条件值
CWTS	China Wireless Telecommunications Standard-Group	中国无线通信标准小组
dB	decibel	分贝
D/C	Data/Control	数据/控制
DCCH	Dedicated Control CHannel	专用控制信道
DCH	Dedicated CHannel	专用信道
DL	Downlink	下行链路
DOFF	DPCH Offset	DPCH 信道偏差
DPCCH	Dedicated Physical Control CHannel	专用物理控制信道
DPCH	Dedicated Physical CHannel	专用物理信道
DPDCH	Dedicated Physical Data CHannel	专用物理数据信道
DRAC	Dynamic Resource Allocation Control	动态资源分配控制
DRX	Discontinuous Reception	中断接收
DS-CDMA	Direct Sequence-Code Division Multiple Access	直接序列码分多址
DSCH	Downlink Share Channel	下行共享信道
DTCH	Dedicated Traffic CHannel	专用流量信道
DTX	Discontinuous Transmission	中断发射
E	Extension bit	扩展位
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	GSM 演进的增强型数据速率
EFR	Enhanced Full-Rate	增强全速率
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power	有效各向同性辐射功率
EM	Electromagnetic	电磁
EPC	Estimated PDU Counter	估计 PDU 计数器
ETSI	European Telecommunications Standards Institution	欧洲电信标准化委员会
EVDO	Evolution Data Optimaized	演进数据优化
FAC	Final Assembly Code	最后装配码
FACH	Forward Access CHannel	前向接入信道
FDD	Frequency Division Duplex	频分双工
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
FER	Frame Error Rate	帧错误率
F-FCH	Forward Fundamental Channel	前向基础信道
FIB	Feedback Indicator Bits	反馈指示比特

（续）

FP	Frame Protocol	帧协议
F-PIH	Forward Pilot Channel	前向导频信道
F-QPCH	Forward Quick Paging Channel	前向快速寻呼信道
F-SCH	Forward Supplemental Channel	前向补充信道
F-SYNCH	Forward Synchronization Channel	前向同步信道
FSPL	Free Space Path Loss	自由空间路径损耗
FTP	File Transfer Protocol	文件传输协议
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network	GSM/EDGE 无线接入网
GGSN	Gateway GPRS Support Node	网关 GPRS 支撑节点
GMM	GPRS Mobility Management	GPRS 移动性管理
GMSA	Global Mobile Suppliers Association	（英国）全球移动供应协会
GMSC	Gateway Mobile Switching Center	网关移动交换中心
GPRS	General Packet Radio Service	通用分组无线业务
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
GSM	Global System for Mobile Communication	全球移动通信系统
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	混合自动重发请求
HCS	Hierarchical Cell Structure	分级蜂窝单元结构
HE	Header Extension	帧头扩展
HFN	Hyper Frame Number	超级帧编号
HFNI	Hyper Frame Number Indicator	超级帧编号指示
HLR	Home Location Register	归属位置寄存器
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	高速下行数据分组接入
HS-DPCCH	High-Speed Dedicated Physical Control Channel	高速专用物理控制信道
HS-DSCH	High-Speed Downlink Share Channel	高速下行共享信道
HS-PDSCH	High-Speed Physical Downlink Share Channel	高速物理下行共享信道
HS-SCCH	High-Speed Share Control Channel	高速共享控制信道
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol	超文本传输协议
Hz	Hertz	赫兹
IE	Information Element	信息单元
IF	Intermediate Frequency	中间频率
IK	Integrity Key	完整密钥
IMEI	International Mobile-station Equipment Identity	国际移动站设备标识
IMP	Inter-Modulation Product	互调乘积

（续）

IMSI	International Mobile Subscriber Identity	国际移动用户标识
IMT-2000	International Mobile Telephony	国际电信联盟命名的第3代国际移动电话系统
IP	Internet Protocol	互联网协议
Inter-RAT	Inter Radio Access Technology	无线接入技术间
IR	Incremental Redundancy	增量冗余
ISACC	ICT Standard Advisory Council of Canada	加拿大ICT标准咨询委员会
ISCP	Interference on Signal Code Power	信号编码干扰功率
ITP	Initial Transmit Power	初始发射功率
ITU	International Telecommunications Union	国际电信联盟
Iu	Interface for RNC-to-CN communication	RNC和CN之间的通信接口
Iub	Interface for RNC and Node B communication	RNC和Node B之间的通信接口
Iur	Interface for RNC-to- RNC communication	RNC和RNC之间的通信接口
kbps	kilobits per second	千比特/秒
ksps	kilosymbols per second	千符号/秒
L1	Layer 1	第1层
L2	Layer 2	第2层
L3	Layer 3	第3层
LA	Location Area	位置域
LAC	Location Area Code	位置域代码
LAI	Location Area Identity	位置域标识
LCR TDD	Low Chip Rate TDD	低码片速率TDD
LCS	Location Service	定位服务
LNA	Low Noise Amplifier	低噪声放大器
MAC	Medium Access Control	媒体接入控制
MAC-b	MAC for broadcast channels	MAC广播信道部分
MAC-c/sh	MAC for common and shared channels	MAC公共和共享信道部分
MAC-d	MAC for dedicated channels	MAC专用信道部分
MAC-hs	HSDPA Medium Access Control	HSDPA MAC
MAC-I	Message authentication code for integrity protection	完整性保护的消息授权码
MAP	Mobile Application Part	移动应用部分
Mbps	Megabites per second	兆比特/秒
MCC	Mobile Country Code	移动国家代码

（续）

Mcps	Megachips per second	兆码片/秒
MD	Mandatory with Default value	强制默认值
ME	Mobile Equipment	移动设备
MHz	Megahertz	兆赫兹
MIB	Master Information Block	主信息块
MIMO	Multiple Input Multiple Output	多输入多输出
MM	Mobility Management	移动性管理
MNC	Mobile Network Code	移动网络代码
MP	Mandatory Present	强制存在
MRP	Market Representation Partners	市场代表合作伙伴
MRW	Move Receiving Window	移动接收窗口
MS	Mobile Station	移动站（终端）
MSC	Mobile Switching Center	移动交换中心
MSCS	Mobile Station Conformance Specification	移动站一致性规范
ms/msec	millisecond	毫秒
MSIN	Mobile Subscriber Identification Number	移动用户识别码
MUX	Multiplex	复用
NAS	Non-Access Stratum	非接入层
NBAP	Node B Application Part	Node B 应用部分
NIM	Noise Injection Margin	噪声注入容限
NMSI	National Mobile Subscriber Identity	国家移动用户标识
NMT	Nordic Mobile Telephone	北欧移动电话通信系统
Node B	UMTS Base Station	UMTS 系统基站
OA&M	Operations，Administration and Maintenance	运行、管理与维护
OMC-U	Operation and Maintenance Center-UTRAN	UTRAN 的运行与维护中心
OTDOA	Observed Time Difference Of Arrival	到达观察时间差异
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor	正交可变扩频因子
PAD	Padding	填充
PCA	Power Control Algorithm	功率控制算法
PCCC	Parallel Concatenated Convolution Code	并行级联卷积码
PCCH	Paging Control CHannel	寻呼控制信道
PCCPCH	Primary Common Control Physical CHannel	主公共控制物理信道
PCG	Project Coordination Group	计划协调小组

（续）

PCH	Paging CHannel	寻呼信道
PCPCH	Physical Common Packet Channel	物理公共分组信道
P-CPICH	Primary Common Pilot Channel	主公共导频信道
PDCP	Packet Data Convergence Protocol	分组数据汇聚协议
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel	物理下行共享信道
PDSN	Packet Data Supporting Network	分组数据支持网
PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元
PHY	Physical Layer	物理层
PI	Page Indicator	寻呼指示
PICH	Paging Indicator CHannel	寻呼指示信道
PLMN	Public Land Mobile Network	公共陆地移动网络
PO	Power Offset	功率偏差
PPP	Point-to-Point Protocol	点对点协议
PRACH	Physical Random Access CHannel	物理随机接入信道
PS	Packet-Switch	分组交换
PSC	Primary Scrambling Code	主扰码
P-SCH	Primary Synchronization Channel	主同步信道
PSTN	Public Telephone Switched Network	公共交换电话网
P-TMSI	Packet Temporary Mobile Subscriber Identity	分组临时移动用户标识
QE	Quality Estimate	质量评估值
QoS	Quality of Service	服务质量
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	四相移键控
R1	Reserved Field	保留域
RA	Routing Area	路由区域
RAB	Radio Access Bearer	射频接入承载
RAC	Routing Area Code	路由域代码
RACH	Random Access CHannel	随机接入信道
RAI	Routing Area Indentity	路由区域标识
RAN	Radio Access Network	无线接入网
RAND	Random Number	随机数
RAT	Radio Access Technology	无线接入技术
RB	Radio Bearer	无线承载

（续）

R-DCCH	Reverse Dedicated Control CHannel	反向专用控制信道
R-EACH	Reverse Enhanced Access CHannel	反向增强接入信道
R-FCH	Reverse Fundamental CHannel	反向基础信道
RF	Radio Frequency	射频
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
RNC	Radio Network Controller	无线网络控制器
RNSAP	Radio Network Subsystem Application Part	无线网络子系统应用部分
RNTI	Radio Temporary Identity	射频临时标识
RPP	Recovery Period Power	恢复周期功率
RRC	Radio Resource Control	无线资源控制
RRC	Root-Raised-Cosine	上升根余弦
RRM	Radio Resource Management	无线资源管理
R-SCH	Reverse Supplemental CHannel	反向补充信道
RSCP	Received Signal Code Power	接收信号编码功率
RSN	Reset Sequence Number	复位序号
RSSI	Received Signal Strength Indicator	接收信号强度指示
RTP	Real Time Protocol	实时协议
RTT	Round Trip Time	往返时间
Rx	Receive	接收
SAW	Stop And Wait	停等协议
SB	Scheduling Block	调度块
S-CPICH	Secondary Common Pilot CHannel	次公共导频信道
SCCPCH	Secondary Common Control Physical CHannel	次公共控制物理信道
SCH	Synchronization CHannel	同步信道
SDU	Service Data Unit	业务数据单元
SER	Symbol Error Rate	符号错误率
SF	Spreading Factor	扩展（频）因子
SFN	System Frame Number	系统帧编号
SGSN	Serving GPRS Support Node	服务 GPRS 支持节点
SIB	System Information Block	系统信息块
SID	Size Index	尺寸索引
SIR	Signal-to-Interference Ratio	信扰比
SIM	Subscriber Identity Module	用户识别模块

（续）

SM	Session Management	会话管理
SMS	Short Message Service	短信息业务
SN	Sequence Number	序列号
SNR	Signal to Noise Ratio	信噪比
SRB	Signaling Radio Bearer	信令射频承载
SS	Supplementary Service	增值业务
SSC	Secondary Scrambling Code	次扰码
S-SCH	Secondary Synchronization CHannel	次同步信道
SSDT	Site Selection Diversity Transmission	站点选择分集传输
STTD	Space Time Transmit Diversity	空时发射分集
SUFI	SUper FIeld	超级区
TAC	Type Approval Code	类型批准代码
TDD	Time Division Duplex	时分双工
TD-SCD-MA	Time Division-Synchronization Code Division Multi-ple Access	时分同步码分多址
TF	Transport Format	传输格式
TFC	Transport Format Combination	传输格式合并
TFCI	Transport Format Combination Indicator	传输格式合并指示
TFCS	Transport Format Combination Set	传输格式合并集
TFRC	Transport Format and Resource Combination	传输格式与资源合并
TFRI	Transport Format and Resource Indicator	传输格式与资源指示
TFS	Transport Format Set	传输格式集
TG	Transmission Gap	传输间隔
TGCFN	Transmission Gap Connection Frame Number	传输间隔连接帧编号
TGD	Transmission Gap starting Distance	传输间隔开始差距
TGL	Transmission Gap Length	传输间隔长度
TGL1	Transmission Gap Length 1	传输间隔长度 1
TGL2	Transmission Gap Length 2	传输间隔长度 2
TGP	Transmission Gap Pattern	传输间隔模式
TGPL	Transmission Gap Pattern Length	传输间隔模式长度
TGPL1	Transmission Gap Pattern Length 1	传输间隔模式长度 1
TGPL2	Transmission Gap Pattern Length 2	传输间隔模式长度 2
TGPRC	Transmission Gap Pattern Repetition Count	传输间隔模式重复次数

（续）

TGPS	Transmission Gap Pattern Sequence	传输间隔模式序列
TGPSI	Transmission Gap Pattern Sequence Identifier	传输间隔模式序列标识符
TGSN	Transmission Gap starting Slot Number	传输间隔开始时隙编号
TIA	Telecommunication Industry Association	（美国）电信行业协会
TM	Transparent Mode	透明模式
TMA	Tower Mounted Anplifér	塔顶放大器
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity	临时移动用户标识
TOI	Third Order Intercept	三阶截距
TPC	Transmission Power Cpntrol	传输功率控制
TRX	Transmitter/Receiver，also Transceiver	收发器
TSG	Technical Specification Group	技术规范小组
TTA	Telecommunication Technology Association	（韩国）电信技术协会
TTC	Telecommunication Technology Committee	（日本）电信技术委员会
TTI	Transmission Time Interval	传输时间间隔
Tx	Transmit	发射
UARFCN	UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number	UTRA绝对射频信道编号
UDP	User Datagram Protocol	用户数据报协议
UE	User Equipment	用户设备
UEA1	UMTS Encryption Algorithm 1	UMTS加密算法1
UIA1	UMTS Integrity Algorithm 1	UMTS完整性算法1
UL	Uplink	上行链路
UM	Unacknowledged Mode	未确认模式
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	通用移动通信系统
URA	UTRAN Registration Area	UTRAN注册区域
U-RNTI	UTRAN Radio Network Temporary Identifier	UTRAN射频网络临时标识符
USIM	Universal Subscriber Identity Module	通用用户识别模块
UTC	Coordinated Universal Time	协同通用时间
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access	通用地面无线接入
UTRAN	UMTS（Universal）Terrestrial Radio Access Network	UMTS（通用）地面无线接入网
Uu	over-the-air interface between the UE and the Node B	UE和Node B之间的空中接口
VLR	Visitor Location Register	漫游位置寄存器
VoIP	Voice over IP	IP话音
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio	电压驻波比
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	宽带码分多址接入

国际视野 科技前沿

国际信息工程先进技术译丛

《WCDWA原理与开发设计》

《下一代移动系统：3G/B3G》

《IMS:IP多媒体概念和服务》（原书第2版）

《下一代无线系统与网络》

《深入浅出UMTS无线网络建模、规划与自动优化：理论与实践》

《HSDPA/HSUPA技术与系统设计——第三代移动通信系统宽带无线接入》

《无线传感器及元器件：网络、设计与应用》

《印制电路板——设计、制造、装配与测试》

《IPTV与网络视频：拓展广播电视的应用范围》

《多电压CMOS电路设计》

《微电子技术原理、设计与应用》

《蜂窝网络高级规划与优化2G/2.5G/3G/…向4G的演进》

《基于蜂窝系统的IMS——融合电信领域的VoIP演进》

《无线网络中的合作原理与应用》

《电生理学方法与仪器入门》

《移动电视：DVB-H、DMB、3G系统和富媒体应用》

《环境网络：支持下一代无线业务的多域协同网络》

《UMTS-HSDPA系统的TCP性能》

《未来UMTS的体系结构与业务平台：全IP的3G CDMA网络》

《基于射频工程的UMTS空中接口设计与网络运行》

上架指导：工业技术/通信技术

McGraw Hill Education

编辑热线：(010)88379764

地　址：北京市百万庄大街22号　邮政编码：100037
联系电话：(010)68326294　(010)68993821
网址：http://www.cmpbook.com（机工门户网）
E-mail:cmp@cmpbook.com
购书热线：(010)88379639　(010)88379641　(010)88379643

ISBN 978-7-111-25417-1

封面设计：马精明

定价：48.00元



[General Information]
书名=基于射频工程的UMTS空中接口设计与网络运行
SS号=12239111